

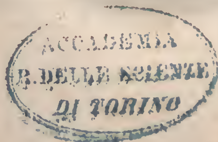
RECUEIL
DE
MÉMOIRES
SUR
LA MÉCANIQUE
ET LA PHYSIQUE;

Par M. l'Abbé ROCHON, *de l'Académie Royale des Sciences, & de celle de Marine.*



A PARIS,
Chez BARROIS l'aîné, Libraire, Quai des Augustins, du côté du Pont Saint Michel.

M. DCC. LXXXIII.



PRÉFACE.

C'est le Recueil de plusieurs Mémoires lus aux Séances publiques & particulieres de l'Académie Royale des Sciences que je présente aujourd'hui au Public.

J'avois dessein d'entrer dans quelques détails sur la construction la plus avantageuse des phares destinés à la sûreté de la navigation le long des côtes du Royaume; mais pour fixer les dimensions qu'il faudroit leur donner, des expériences que je n'ai pas encore été à portée de faire sont absolument indispensables. Je dois donc seulement me borner à faire observer que si les phares ont la forme d'une croix dont les dimensions soient fixes & connues des Navigateurs, ma lunette à prisme, dont je donne dans cet Ouvrage une ample description, pourroit servir dans ce cas à faire connoître & la distance du vaisseau au phare, & sa position par rapport à la côte. En effet, la branche verticale de la croix formera un petit angle qu'on observera avec la lunette à prisme, & les dimensions de la croix étant connues par l'Observateur, il en résultera l'estimation de la distance avec le degré de précision nécessaire

aux beſoins de la navigation. Quant à la poſition du vaiſſeau par rapport au phare, c'eſt l'angle formé par la branche horizontale de la croix qui la détermine, dès que la diſtance eſt connue ; car, à diſtance égale du phare, l'angle horizontal ſera d'autant plus grand que le vaiſſeau approchera davantage de la perpendiculaire aux branches horizontales de la croix.

Il n'eſt peut-être pas inútile de prévenir le Lecteur que la lunette à priſme qui meſure avec une ſi grande préciſion les petits angles, peut ſervir à faire coïncider deux cercles diverſement colorés l'un ſur l'autre, de maniere qu'il n'en réſulte qu'un ſeul & unique cercle. Cette application, dont je n'ai fait aucune mention dans cet Ouvrage, m'a paru, par des expériences que j'ai faites récemment, avoir l'avantage de fixer avec plus de préciſion la couleur qui réſulte de deux mélanges de rayons hétérogènes. On peut même ſe flatter de répéter avec une extrême facilité toutes les expériençes de ce genre indiquées par Newton.

J'euſſe déſiré ajouter à mes recherches la meſure préciſe du diamètre de la nouvelle planète découverte par M. Herſchel. Ma lunette à priſme qui amplifie les objets

trois cents fois, m'en auroit procuré le moyen ; mais je n'ai pu faire jusqu'à ce jour qu'une seule observation, conjointement avec M. Mechain, laquelle a donné six à sept secondes. La détermination d'un diamètre si petit exige un grand nombre d'observations : d'ailleurs on verra dans cet Ouvrage, que la conformation de l'œil s'oppose à la vision distincte de très-petits objets ; ainsi, par cette seule cause, le disque de la planète de M. Herschel doit paroître mal terminé, à moins qu'on fasse usage dans cette détermination d'un télescope d'un pouvoir amplifiant extraordinaire. M. Herschel dit qu'il fait grossir six mille fois son télescope Newtonien. Ce grossissement est étonnant ; cependant je pense qu'il y a en général moins d'inconvéniens à forcer jusqu'à certaines limites le pouvoir amplifiant des télescopes, quand on les destine à observer des étoiles ou des objets excessivement petits, sans cependant que ce grossissement extraordinaire puisse convenir à Jupiter & aux autres planètes principales. Cette différence tiendroit alors uniquement à la conformation de l'œil, qui exige pour la vision distincte une peinture sur la rétine d'une certaine étendue.

L'utilité du diaſporamètre, dont j'ai donné dans cet Ouvrage la deſcription, ne s'étend pas ſeulement à la détermination des loix de la réfraction & de la diſperſion des rayons dans les ſubſtances réfringentes ; on peut l'employer avec ſuccès à l'examen des diſſolutions chimiques, dans la vûe de diſtinguer celles qui ſont de vraies diſſolutions, de celles qui ne paroiſſent tranſparentes qu'à cauſe de l'extrême petiteſſe des corps qui y ſont ſuſpendus. On ſent en effet que les diſſolutions n'ont pas la même réfraction que le diſſolvant, tandis que la force réfractive d'une liqueur ne paroît pas devoir être changée par le mélange des petits corps qui y nagent, ſans en troubler ſenſiblement la tranſparence. Toutes les diſſolutions de ſels qui ont été employés dans les expériences du diaſporamètre, ont été préparées dans le Laboratoire de M. le Duc de la Rochefoucault, dont on connoît le goût éclairé pour les Sciences, & le zèle pour leur progrès. La préciſion qu'il ſait mettre dans ſes travaux, & l'étendue de ſes lumières, ne peuvent laiſſer aucun doute ſur la pureté des ſubſtances employées dans ces diſſolutions.

Quant à la machine à graver, j'ai cru

devoir ajouter un eſſai de ce genre de gravure, à la deſcription que j'en donne dans ce Recueil. Je crois encore devoir placer ici un paſſage de M. de Voltaire ſur la méthode d'imprimer, des Chinois, qui n'eſt, comme on ſait, qu'une eſpece de gravure. On verra que cet homme célèbre reconnoiſſoit que la gravure avoit, à certains égards, des avantages importans ſur l'imprimerie à lettres mobiles, & ces avantages ſont communs à la machine que j'ai imaginée. » La méthode » de graver ſur planches des Chinois, nous » paroît avoir de grands avantages ſur la » nôtre : premièrement, le Graveur qui » imprime, n'a pas beſoin d'un Fondeur ; » ſecondement, le Livre n'eſt pas ſujet à » périr, la planche reſte ; troiſièmement, » les planches ſe corrigent aiſément après » l'impreſſion ; quatrièmement, le Graveur » n'imprime qu'autant d'exemplaires qu'on » lui en demande, & par-là on épargne » cette énorme quantité d'imprimés, qui » chez nous ſe vendent au poids pour ſer» vir d'enveloppe aux ballots «.

J'ai rendu compte, dans cet Ouvrage, des moyens que j'ai imaginés pour diſpenſer les Navigateurs des calculs qui juſqu'à préſent ont été indiſpenſables pour déter

miner à la mer la longitude par l'obſervation de la lune au ſoleil, ou aux étoiles. Depuis que j'ai exécuté l'inſtrument, j'ai encore ſimplifié la méthode, & je l'ai rendue rigoureuſe, de manière que l'Obſervateur prend directement la diſtance vraie des deux aſtres, ſans que la parallaxe & la réfraction puiſſe en aucune manière influer ſur la diſtance obſervée. Pour remplir cet objet, j'ai adapté des priſmes variables devant le grand & le petit miroir du quartier de réflexion. Le niveau de la nouvelle conſtruction qui ſert à indiquer la poſition qu'ils doivent avoir relativement au plan qui paſſe par les deux aſtres & par l'œil, eſt pour cet effet adapté au quartier de réflexion qui ſert à meſurer la hauteur des aſtres, & à indiquer la poſition qu'il faut donner aux deux priſmes, & l'angle qui produit un effet opposé à l'effet combiné de la parallaxe & de la réfraction.

L'Obſervateur, chargé de meſurer la diſtance, prend la diſtance vraie au lieu de l'apparente qu'il auroit immanquablement ſans les deux priſmes variables qui, par leurs poſitions verticales, quel que ſoit le plan qui paſſe par l'œil & par les deux aſtres, remettent néceſſairement les aſtres à leur véritable place, ſi toutefois le niveau a bien

indiqué la position qu'il faut donner aux prismes pour qu'ils soient dans cette position.

Avant de finir cette Préface, je crois devoir faire part au Public d'un travail, dont j'ai déjà entretenu l'Académie il y a près de quatre ans : cette recherche a pour objet la distillation dans le vide. Je n'occuperai pas le Lecteur des moyens faciles de faire le vide par le plein, par le feu, par des pompes en forme de soufflets, ou enfin par la machine pneumatique. Ces moyens sont si connus ou si faciles à imaginer, que je dois me borner dans ce Précis à exposer succinctement la théorie qui prouve combien il est avantageux de préférer, dans la distillation, des vaisseaux entiérement privés d'air. J'ajouterai qu'un grand nombre d'expériences confirme complétement cette théorie. Elles seront le sujet d'un Ouvrage particulier, que je ne puis encore me flatter de publier que dans quelques années, parce qu'il faut les faire en grand. L'expérience avoit appris aux Physiciens, que l'eau entroit en ébullition sous le récipient de la machine pneumatique à un foible degré de chaleur. Cette connoissance devoit sans doute les engager à porter leurs vûes sur les moyens d'en faire

uſage pour perfectionner l'art utile de la diſtillation : mais ce fait a eu le ſort commun à tant d'autres expériences, celui de préſenter un phénomène curieux, ſans qu'on ait imaginé d'en tirer avantage. Il étoit réſervé à un homme illuſtre, dont la poſtérité admirera la ſageſſe & le génie, de porter dans ſa retraite ſes vûes bienfaiſantes ſur un objet qui, dans la ſuite des temps, peut devenir utile au Public : car, en France plus que dans tout le reſte de l'Europe, la diſtillation des eaux-de-vie eſt une branche de richeſſe importante, & l'art de les améliorer & d'y porter l'économie, eſt digne d'une adminiſtration éclairée.

C'eſt à l'article EXPANSIBILITÉ du Dictionnaire Encyclopédique, que M. Turgot a jeté les premiers fondemens des vrais principes de cette partie importante de la Phyſique & de la Chimie. Cet article renferme des idées ſi neuves & ſi profondes, que les ſavans Éditeurs de ce Dictionnaire ont ſouvent confondu la vaporiſation avec l'évaporation, quoique M. Turgot ſe ſoit principalement attaché à prouver que ces deux phénomènes avoient des effets très-différens. En effet, qu'eſt-ce que la vaporiſation ? c'eſt la ſé-

paration des élémens des corps en particules déliées, opérée par une force produite ou développée par une chaleur plus ou moins grande. Cette force répulsive & inconnue occasionne dans certaines substances les effets les plus redoutables ; c'est elle qui cause ces explosions subites & terribles qui brisent en un clin d'œil les obstacles qui résistent à son expansibilité. La détonnation de la poudre à canon, celle plus étonnante encore de l'or fulminant, sont, selon toute vraisemblance, des phénomènes de la vaporisation. Mais pour se former une idée plus simple de la force expansive des corps qui sont réduits dans l'état de vapeur, il suffit de considérer les effets si connus de la vapeur de l'eau bouillante : cette vapeur si active & si pénétrante réduit en gelée les os les plus compacts, sa force dans la pompe à feu surpasse celle de tous les agens dont l'homme a su se rendre maître pour élever les eaux, & nous espérons prouver dans un Mémoire, uniquement consacré à cet objet, que la Mécanique peut se flatter encore de retirer d'autres avantages de cet agent puissant.

Mais ne perdons pas de vue pour ce moment les causes qui suspendent ou qui

arrêtent, dans les corps ſolides & fluides, l'état de vaporiſation. Le feu, qui déſunit tout & donne la fluidité aux corps les plus réfractaires, ſépare par degrés les élémens des corps, en leur communiquant une expanſibilité relative à leur nature; de là leur décompoſition en particules déliées, qui ſe ſubliment ou ſe volatiliſent. Les ſeuls obſtacles qui s'oppoſent à cette analyſe, ſont la cohérence des parties, leur poids, & la peſanteur de l'air qui les comprime : ainſi le degré de feu néceſſaire pour réduire, par exemple, l'eau dans l'état de vapeur, doit être plus grand à l'air libre que dans des vaiſſeaux privés d'air; cette remarque eſt conforme à l'expérience, car les Phyſiciens ont reconnu que l'ébullition de l'eau varioit ſelon la hauteur du baromètre, & qu'il falloit que le thermomètre de Réaumur indiquât à peu près quatre-vingts degrés, pour que l'eau fût bouillante à l'air libre, tandis que dans le vide, la chaleur de vingt-cinq degrés du même thermomètre ſuffit pour la faire entrer en ébullition, par conſéquent l'air s'oppoſe à la vaporiſation; donc il eſt très-économique & très-avantageux de faire certaines analyſes dans des vaiſſeaux privés d'air. Mais ſi M. Turgot a fait voir

d'une manière palpable que l'air eſt un obſtacle à la vaporiſation, il n'a pas moins clairement prouvé que cet élément eſt néceſſaire à l'évaporation. Il a fait plus, il a montré que l'évaporation d'une ſubſtance eſt due à ſon union chimique avec l'eau qui la tient en diſſolution (*). En effet la glace éprouve à l'air libre une évaporation ſenſible ; mais cette déperdition de l'eau, devenue ſolide par l'état de congélation, prouve évidemment que l'air, qui eſt en contact avec la ſurface de la glace, a aſſez d'action ſur elle pour la diſſoudre. Or le caractère diſtinctif d'une diſſolution parfaite eſt, ſelon les Chimiſtes, la tranſparence; par conſéquent l'air tient en parfaite diſſolution les ſubſtances hétérogènes qui s'élèvent perpétuellement dans l'atmoſphère par la voie de l'évaporation, puiſque ſa tranſparence n'en eſt point ſenſiblement altérée. Tel eſt en peu de mots le raiſonnement qui a dévoilé à M. Turgot le principe de l'évaporation, principe qui a été depuis confirmé par pluſieurs expériences déciſives; ainſi la théorie de M. Turgot eſt

(*) Voyez ſur ce ſujet un excellent Mémoire de M. le Roy, Docteur de la Faculté de Montpellier, imprimé dans les Mémoires de l'Académie, année 1751.

générale, elle résout toutes les difficultés, ou plutôt elle n'en permet pas de plausibles.

Dès qu'on est certain que la vaporisation est la séparation des élémens des corps par la chaleur, & que l'évaporation d'une substance est l'union chimique de cette substance avec l'air, on ne peut plus craindre de confondre les effets qui appartiennent à l'un & à l'autre de ces deux principes; mais cette distinction est indispensable pour procéder avec exactitude & sûreté dans les analyses chimiques. On sent que la méthode de distiller dans le vide, en réduisant presque à rien la quantité de charbon nécessaire pour la distillation, permettra de faire sur les vaisseaux un usage habituel d'eau distillée. Des distillations de différentes espèces de vins, faites chez M. Turgot, par cette méthode, nous ont prouvé aussi que l'on parvenoit, en l'employant, à séparer les différens produits de l'analyse, avec une exactitude & une précision auxquelles la méthode ordinaire ne pourroit atteindre.

Fin de la Préface.

EXPLICATION DES PLANCHES

qui ſe trouvent dans cet Ouvrage.

DANS les Planches 1 & 2, il n'y a que la Figure 30 à expliquer; c'eſt le deſſin du thermomètre à air qui nous a ſervi dans les Expériences, dont l'objet étoit de meſurer les différens degrés de chaleur des rayons colorés.

Dans les Planches 3 & 4, la Figure 23 repréſente la lunette à priſme, avec ſon développement. La Figure 24 offre le priſme variable de Newton, adapté à une lunette. La Figure 25 eſt le deſſin de l'inſtrument deſtiné à meſurer de grands angles par des priſmes de verre. Les Figures 26, 27, 28, 29 ſont des priſmes & des objectifs de différentes formes.

Les Planches 5 & 6 repréſentent le diaſporamètre, avec le développement de toutes les parties qui le compoſent.

Les Figures 10 & 11 repréſentent l'effet de la double réfraction du criſtal de roche & d'Iſlande dans le ſens horizontal & dans le ſens vertical. La Figure 13, montre la forme extérieure du corps de la lunette; A, le priſme; B, cercle diviſé dans lequel il eſt encadré; F, tuyaux d'oculaire; H, manivelle qui fait mouvoir le cercle, & par conſéquent le priſme; G, mouvement pour rendre l'effet du priſme ſtationnaire; I, ſupport du diaſporamètre.

Le cercle BD, qui porte le priſme A, a une raînure ou fente demi-circulaire GE, pour laiſſer paſſer l'index D; BEB, profil de ce cercle, & différentes poſitions de priſmes a, r, s, qui réſultent du mouvement circulaire.

La Planche 6 repréſente les pièces qui donnent aux deux priſmes le mouvement circulaire qui leur eſt néceſſaire; BB eſt le cercle diviſé qui porte le premier priſme; CHN, eſt la plaque intérieure, laquelle eſt dentée aux deux tiers de ſa circonférence, & porte le ſecond priſme; HN eſt le pignon d'engrainage par la manivelle G; DD eſt le profil des cercles DC, OD, qui portent les priſmes; & OKH, TKG, font voir la manière dont elles ſont muës.

Les Planches, 7, 8, 9, 10 concernent la machine à graver.

La Planche 7 offre la perſpective de la machine.

La Planche 8, le plan géométral de cette machine.

A A A A eſt le deſſus de la table qui ſupporte toute la machine.

B B eſt la partie ſupérieure de la roue qui porte les poinçons.

C eſt la tête de la vis de preſſion, laquelle a la forme d'un barillet; ce barillet communique aux poulies de renvoi D, D, par deux chaînes; la première de ces poulies D, porte un limaçon F, qui a une gorge pour renfermer une chaîne qui porte le poids : ce limaçon, à cauſe de ſon excentricité, fait l'effet d'un levier variable.

La ſeconde poulie D a auſſi une petite poulie E, avec une chaîne à laquelle eſt attaché le contre-poids.

H eſt la règle ou le tableau des lettres, dont * eſt l'indicateur.

I, cercle diviſé, avec pluſieurs index pour fixer la longueur des lignes.

K, manivelle qui ſert à faire mouvoir la roue par le moyen d'un pignon & de la roue dentée P.

L N, manivelle ou levier coudé, qui ſert à faire dégager de la grande roue la dent M en forme de coin, qui l'arrête dans la poſition qu'elle doit avoir.

La Planche 9 repréſente le profil géométral de la machine.

La Planche 10 repréſente l'élévation de la machine vue de face.

Les pièces R, S, T, V, Z, &, ſervent à faire mouvoir la Planche dans les deux ſens, pour former les mots & les lignes.

EXTRAIT DES REGISTRES DE L'ACADÉMIE

Du Mercredi 22 Novembre 1782.

MM. l'Abbé BOSSU & de CONDORCET ayant rendu compte d'un Ouvrage de M. l'Abbé ROCHON, intitulé *Recueil de Mémoires ſur la Mécanique & la Phyſique*; l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de ſon Approbation & d'être imprimé ſous ſon privilége.

En foi de quoi j'ai ſigné le préſent certificat. A Paris, ce 7 Décembre 1782. Le Marquis de CONDORCET, Secrétaire perpétuel.

EXTRAIT
DES REGISTRES
DE
L'ACADÉMIE ROYALE
DES SCIENCES.

Des 25 Janvier, 26 Février, 9 Avril & 7 Juin, 1777.

MÉMOIRE sur un nouveau Micromètre objectif, par M. l'Abbé Rochon. Le 25 Janvier.

LA difficulté de se procurer dans la chambre la plus obscure, un spectre assez vif & assez étendu pour distinguer les différentes couleurs qui résultent de la décomposition de la lumière d'une étoile, me fit imaginer d'employer à cette recherche, le télescope armé de prismes, de différens angles & de différentes densités : ce moyen que j'ai employé avec succès à la détermination précise du rapport de dispersion, dans des verres de différentes densités, peut s'appliquer avec le même avantage aux autres expériences indiquées par Newton. Il m'a paru sur-tout très-propre à nous faire connoitre avec précision la double réfraction des différens crystaux de roche; mais cette recherche m'a conduit à la découverte d'un micromètre objectif, qui m'a paru présenter des avantages assez grands, pour devoir en faire part tout de suite à l'Académie. Ce micromètre est composé de deux prismes de crystal de roche de même angle, & par conséquent dont la double réfraction est la même, & dans tous les cas proportionnés à l'angle réfringent des prismes; par la position respective de ces prismes, on obtient des spectres qui s'écartent ou se confondent, selon la

somme, ou la différence de ces angles. Il ne s'agit donc plus que de détruire l'effet qui résulte de la forme prismatique de chaque prisme, sans diminuer cette double réfraction si favorable à la mesure précise des angles ; & rien n'est plus facile, en appliquant à chaque prisme de crystal de roche, un prisme de verre de France, qui, comme on sait, peut dans tous les cas anéantir les couleurs, & par conséquent la confusion qui en est une suite.

ADDITION au Mémoire, sur un Micromètre fait avec du crystal de roche, par l'Abbé Rochon. Le 26 Janvier.

J'AI déjà fait voir que la double réfraction du crystal de roche pouvoit servir à mesurer de petits angles ; mais je n'avois pas imaginé que ce moyen pourroit s'appliquer à toutes espèces de lunettes, quel qu'en soit l'effet, sans altérer en aucune façon la distinction avec laquelle on doit voir les planètes, lorsqu'on veut mesurer leur diamètre, avec la précision qu'exige une observation aussi délicate. La construction du premier micromètre de ce genre que je présentai à l'Académie, avoit quelques défauts auxquels la disposition présente remédie absolument.

Ce moyen a d'ailleurs l'avantage d'être beaucoup plus simple & moins dispendieux ; il consiste en un seul prisme de crystal de roche, combiné avec deux prismes de verre de France, pour détruire les couleurs.

On approche ou on éloigne du foyer de l'objectif des prismes, de maniere que les deux images de Jupiter, ou de telle autre planète dont on voudra mesurer le diamètre, se touche : ce contact se juge avec une précision d'autant plus grande, que les deux images qui sont égales en force, sont aussi bien terminées que s'il n'y avoit pas de prismes, parce qu'ils sont très-près de l'oculaire.

Je n'entrerai pas dans le détail des avantages de cette nouvelle construction, & des inconvéniens de la précédente, me proposant de donner sur ce sujet un mémoire détaillé, lorsqu'un plus grand nombre d'expériences aura fixé le degré de précision que peut comporter cet instrument.

MÉMOIRE sur le moyen d'employer la double réfraction du Cryſtal de Roche, à la meſure préciſe des petits angles; détermination des diamètres des planètes, par cette méthode & deſcription ſuccinte d'un Inſtrument deſtiné à donner avec exactitude la diſtance de la Lune aux Etoiles, lorſque cette diſtance n'excède pas vingt degrés. Lu à la rentrée publique de l'Académie des Sciences, le 9 Avril 1777.

LA double réfraction d'une eſpèce de ſpath calcaire, connu ſous le nom de *cryſtal d'Iſlande*, décrite d'abord par Bartholin, a long-tems occupé les plus ſavans Mathématiciens.

Huyghens regardant par des priſmes de cryſtal de roche, la flamme d'une bougie, apperçut cet objet double; en ſorte que ce cryſtal qu'on fait être d'une nature différente de celui d'Iſlande, jouit auſſi de cette ſingulière propriété. Newton fait dans ſon Traité d'Optique la même remarque au ſujet du cryſtal de roche; mais ſans entrer ſur cet objet dans aucun détail, quoiqu'il s'étende fort au long ſur la double réfraction qui a lieu dans le cryſtal d'Iſlande. Le moyen que j'employai d'abord pour rendre aſſez ſenſible les phénomènes de la double réfraction, pour les ſoumettre à de nouvelles recherches, fut de tailler ſphériquement les deux côtés d'un morceau de cryſtal de roche, l'un convexe d'un rayon de dix lignes, & l'autre concave d'un rayon de deux lignes. J'eus par-là, ſi je puis m'exprimer ainſi, une petite lunette maſſive, qui rendoit très-apparens, ſur des objets éloignés, les phénomènes de la double réfraction.

Pluſieurs expériences faites par cette lunette, sembloient indiquer dans la formation du cryſtal, deux matières de différentes denſités, unies l'une à l'autre par couches parallèles, & en quantité preſque égale.

La théorie de la réfraction me fit penſer que des

prismes taillés dans les différens sens de a crystallisation, étoit le meilleur moyen de s'en assûrer.

J'en fis donc plusieurs, tant de crystal d'Allemagne que de celui de Madagascar, que je présentai successivement devant un télescope. Je regardai ensuite la flamme d'une bougie, placée à une distance considérable.

Tous ces prismes, hors un seul, donnoient deux spectres, les uns sensiblement d'égale force, & les autres d'une inégalité considérable.

Celui qui n'en donne qu'un, confirme l'assertion du Père Beccaria, qui, au rapport de M. l'Abbé Fontana, a trouvé dans le crystal le sens dans lequel la double réfraction n'avoit pas lieu ; ce qui pourroit le rendre propre aux instrumens d'optique.

Cette suite d'expériences semble donc confirmer, de plus en plus, l'hypothèse des deux matières de différentes densités, par couches parallèles ; car sans cela, comment expliqueroit-on le phénomène de la double réfraction, les inégalités qu'on y remarque, & qui sont telles qu'il y a un sens où il n'y a qu'une seule réfraction, comme dans le verre le plus homogène ?

Sans m'arrêter plus long-tems sur cette assertion, je reviens à la mesure de la double réfraction : on conçoit que, pour l'obtenir avec précision, il est nécessaire de détruire les couleurs qui proviennent de la forme prismatique du crystal, sans toutefois diminuer sa double réfraction.

Un prisme de verre de France de même angle, adossé à celui de crystal, de manière que l'angle de l'un répondoit à la base de l'autre, me fit obtenir une double réfraction parfaitement distincte, & sensiblement exempte de couleurs, telle enfin qu'on peut la desirer.

Il est à remarquer, qu'on peut substituer au prisme de verre, un prisme de même angle de crystal de roche, pourvu toutefois qu'il soit taillé exactement dans le sens où il ne donne qu'une réfraction ; alors les couleurs sont plus rigoureusement détruites.

Les recherches dont j'ai à rendre compte, m'engagent à nommer milieu doublement réfringent, l'union de ces deux prismes qui donnent la double réfraction, sans donner de couleurs : cette dénomination présente une idée exacte de leur effet.

J'adaptai, devant une bonne lunette, le milieu doublement réfringent dont je viens de parler; je la dirigeai ensuite sur un carré de carton, dont les côtés avoient six pouces. Je vis ce carré de carton double, & je jugeai le contact des deux images à 207 pieds; ce qui donne la double réfraction de ce milieu doublement réfringent de 8 min. 18 sec. Parvenu à déterminer, par cette méthode, la double réfraction du crystal de roche à la précision d'une seconde, je cherchai à l'employer à la mesure des petits angles.

La construction suivante me parut remplir assez bien cet objet. Je pris deux milieux doublement réfringens, qui donnoient l'un & l'autre une double réfraction de 8 min. 18 sec. Je les posai l'un sur l'autre; celui de dessous étoit attaché sur un cercle fixe, & celui de dessus sur un autre cercle mobile & concentrique: par-là, je pouvois détruire l'effet de la double réfraction de chaque milieu, ou l'augmenter jusqu'à 16 min. 36 sec. Ainsi, si le cercle mobile qui porte un des milieux doublement réfringent marque zéro, lorsque la double réfraction est anéantie, ce cercle marquera nécessairement 180 deg., lorsqu'elle sera de 16 min. 36 sec.; donc chaque degré de ce cercle répondra à 5 min. & dem. à peu près. Le seul défaut de ce micromètre, est de donner quatre images dans tous les points intermédiaires, compris entre zéro & 180 deg.

La construction suivante obvie non-seulement à ce défaut, mais encore donne la mesure des petits angles, avec une précision à laquelle je n'aurois jamais soupçonné pouvoir atteindre.

Je prends un seul milieu doublement réfringent de 8 min. 18 sec.; par exemple, je le place dans le tuyau de ma lunette acromatique de 7 pieds, de manière qu'il peut parcourir en ligne droite tout l'espace compris entre l'objectif & le foyer.

Lors donc que ce milieu réfringent touche l'objectif, la lunette dirigée vers une étoile donne à son foyer deux images parfaitement égales, dont l'écartement est connu, puisque c'est la tangente de 8 min. 18 sec., sur un rayon de 7 pieds, distance focale de l'objectif.

Mais si ce milieu doublement réfringent, au lieu de toucher l'objectif, est placé à un pied de son foyer, l'écartement qu'il produira dans les images sera 7 fois

moindre, puiſque les tangentes ſuivent toujours le rapport des rayons.

Enfin, ſi on place ce milieu exactement au foyer; ce qu'on reconnoîtra facilement par un trait de diamant, tracé ſur la ſurface du priſme de cryſtal de roche, qui, comme nous l'avons dit, entre dans la conſtruction de ce que nous nommons milieu doublement réfringent, & donne ſeul la double réfraction; ſi dis-je, on place ce milieu au foyer de l'objectif, il ne produira aucun écartement dans les images, c'eſt-à-dire, que l'étoile ne paroîtra plus double : ainſi dans cet exemple, pour meſurer des angles depuis zéro juſqu'à 8 min. 18 ſec. on a 7 pieds à faire parcourir à ce milieu doublement réfringent. Ce nouveau micromètre adapté à ma lunette acromatique de 7 pieds, à triple objectif, m'a donné les déterminations ſuivantes des diamètres des planètes.

Il eſt à remarquer que dans ces obſervations je me ſuis ſervi d'un ſeul oculaire de neuf lignes de foyer, pour ſimplifier, le plus qu'il eſt poſſible, la meſure de ces angles. La lunette dans cet état amplifie cent quatorze fois les diamètres des objets, avec toute la diſtinction & la clarté néceſſaires à des obſervations auſſi délicates, ſans que le micromètre puiſſe en aucune façon en altérer la bonté, d'autant que, dans les déterminations ſuivantes, il a toujours été très-éloigné de l'objectif.

Le 5 Avril, le tems étant clair & ſerein, j'obſervai Mars à 8 heures du ſoir par ma lunette armée de ce micromètre. Les deux images de cette planète étoient bien terminées, les taches qu'on remarque quelquefois ſur ſon diſque très-diſtinctes, & les deux diſques d'égale denſité de lumiere : je jugeai le contact précis des deux images de cette planète, lorſque le micromètre fut écarté du foyer de l'objectif de 33 lignes & dem. D'où je conclus ſon diamètre de 16 ſec. 2 par cette ſeule proportion : 1030 lignes diſtance focale de l'objectif eſt à 8 min. 18 ſec., angle conſtant de la double réfraction, comme 33 lignes & dem. diſtance du micromètre au foyer, eſt au diamètre de Mars.

J'obſervai enſuite l'anneau de Saturne, dont le contact des bords extérieurs éloigna le micromètre du foyer de 84 lignes; ce qui donne pour le grand axe de

l'anneau 40 sec. 6. Je trouvai de même le diamètre du globe de Saturne de 16 sec. 9.

Quant aux deux diamètres de Jupiter, celui qui est dans le sens des bandes, faisoit écarter le micromètre de 78 lig., tandis que celui des pôles n'exigeoit qu'un écartement de 73 à 73 lig. & dem. Ainsi le grand diamètre de Jupiter étoit de 37 sec. 7, & le petit diamètre au moins de 35 sec. 3; donc la différence des diamètres est au plus d'un seizième.

Il est bien à remarquer, qu'une erreur d'une seconde, dans la mesure absolue de la double réfraction, c'est-à-dire dans l'angle de 8 min. 18 sec. du micrometre, ne produiroit pas dans la mesure du diamètre de Mars, par exemple, une erreur de 2 tierces, & qu'ainsi il y a moins d'erreur dans cet instrument, & les divisions sont plus sensibles que dans un secteur de 500 toises; car celle qui provient de l'incertitude du point de contact, dépend absolument de la force de la lunette.

Enfin, plus ce micromètre sera près du foyer, & on sera toujours maître de cette condition, par un assortiment de prismes de différens angles, moins il exigera de perfection, & plus il aura de précision.

On peut aussi appliquer ce micromètre avec le même succès aux microscopes & à la mesure des plus grands angles, en se servant de prismes de crystal d'Islande.

Les bornes de ce mémoire ne me permettant pas d'entrer dans plus de détails sur ce sujet, je passe à un autre moyen qui me semble donner avec assez de précision la mesure des plus grands angles.

L'instrument qui sert à terre à mesurer les angles, est, comme on sait, composé d'une portion de cercle divisé, dont le centre porte deux alidades mobiles, sur lesquelles on fixe des lunettes parallèlement au plan du limbe.

Le degré de précision de cet instrument dépend de la grandeur, de la justesse, de ses divisions & de la force des lunettes qu'on y adapte; mais sa grandeur a des bornes assez resserrées : le mouvement diurne, lorsqu'on l'emploie à prendre dans le ciel des angles, nuit à sa précision. M. Bouguer sentant ces difficultés, imagina, en 1748, un instrument, auquel le mouvement diurne ne nuit pas; c'est l'heliomètre ou l'astromètre. Pour en

prendre une idée exacte, il faut se rappeler que, dans l'instrument destiné à prendre des angles, on peut placer les lunettes sur les alidades, à volonté, pourvu qu'elles soient dans le plan de limbe. M. Bouguer profitant habilement de cette facilité, les posa de manière à faire tomber le foyer des objectifs au centre du limbe. Cette construction procure le grand avantage de réunir au foyer commun des objectifs, les deux objets dont on veut prendre l'écartement, & d'en juger le contact par un seul oculaire : mais l'obliquité des axes optiques, le centre de l'œil privé de lumière, tandis que les bords de la prunelle reçoivent inégalement les rayons des deux objets réunis, enfin les aberrations de sphéricité & de réfrangibilité, qui empêchent même dans les lunettes acromatiques, qu'on ait un foyer précis, limitent l'usage de cet instrument, & le réduisent à la mesure de petits angles, dont la détermination a moins d'exactitude, qu'on obtiendroit par un secteur de même longueur, lorsque le mouvement diurne ne nuit pas à l'observation, parce que les divisions sont les mêmes dans les deux instrumens.

Une partie des défauts de l'astromètre de M. Bouguer, sont corrigés dans le micromètre objectif, qui me semble un instrument différent : c'est bien, à la vérité, un objectif coupé en deux; mais il peut être convexe ou concave ; il est adapté devant une lunette ou telescope : plus l'objectif coupé est de long foyer & plus il est exact, de sorte qu'il me paroît qu'on peut le considérer comme un assemblage de prismes, dont les prismes du centre ont des angles infiniment petits, tandis que ceux des bords ont une grandeur proportionnée au diamètre de l'objectif & à sa sphéricité.

Cette disposition a l'avantage de donner à la lumière une direction perpendiculaire au foyer, tandis qu'elle est oblique dans l'heliomètre. De plus, si devant un télescope de trois pieds on met un objectif de cent pieds, les divisions seront les mêmes que dans un secteur de cent pieds. Les défauts de cet instrument sont, 1°. que les prismes sphériques défigurent l'objet; 2°. que les objectifs coupés doivent être d'un tres-long foyer & d'un grand diamètre, pour donner des angles un peu considérables, & n'avoir pas à redouter d'erreurs dans les divisions; 3°. les deux moitiés d'un objectif

ont rarement le même foyer ou la même diſtinction ; & l'expérience m'a prouvé qu'on perdoit par tous ces moyens, non-ſeulement de la clarté, mais encore de la diſtinction.

Ces imperfections ſont, comme on voit, bien différentes de celles qui ont lieu dans l'aſtromètre de M. Bouguer ; & l'examen particulier de ces inſtrumens m'a fourni des vues pour celui que je propoſe de leur ſubſtituer.

Il conſiſte en deux ſyſtêmes de priſmes plans, parfaitement acromatiques. J'ai déjà donné les moyens de s'en procurer qui donnent une forte réfraction, ſans produire de couleurs, même devant un téleſcope.

Ces priſmes doivent être placés ſur des cercles mobiles, à côté l'un de l'autre.

Si chaque priſme acromatique donne une réfraction de ſix degrés, il eſt palpable qu'on pourra meſurer des angles depuis zéro juſqu'à 12 deg., & chaque minute répondra ſur chaque cercle à un demi-degré.

Placez cet inſtrument devant un aſtromètre, de ſorte qu'il ſoit éloigné des objectifs, vous jugerez par-là le contact des images; n'ayant 1°. qu'une obliquité que vous êtes le maître de prendre, aſſez petite pour qu'elle ne ſoit pas préjudiciable à la viſion & à l'obſervation préciſe du point de contact.

2°. Vous n'aurez pas les aberrations qui naiſſent de l'obliquité des rayons ſur des priſmes ſphériques.

3°. Vous aurez plus de clarté dans le micromètre objectif.

4°. On aura des diviſions très-préciſes & très-étendues.

Les bornes qui nous ſont preſcrites ne me permettant pas d'entrer dans plus de détail ſur cet objet, quelqu'important qu'il puiſſe être.

Lu le 7 Juin.

CONTINUATION des Recherches précédentes.

LA lumiere, émanée du ſoleil qui traverſe des corps diaphanes, dont les ſurfaces ne ſont pas parallèles, ſe décompoſe, en ſe réfractant, & donne des couleurs

d'autant plus diſtinctes & ſéparées, que l'angle formé par ces deux ſurfaces eſt plus grand, & le pouvoir réfringent du milieu plus conſidérable. L'ordre de ces couleurs eſt invariable, & Newton les a réduites à ſept dénominations principales, qui ſont; le rouge, le jaune, le verd, le bleu, l'indigo & le violet.

Si l'on ne donnoit pas aux facettes des pierres précieuſes la forme priſmatique, néceſſaire à la décompoſition de la lumière, elles ſeroient ſans éclat; le diamant même taillé en table, ne différeroit que par ſa dureté, d'un morceau de verre ou de cryſtal de roche. La théorie des réfractions preſcrit, ſans doute, invariablement la forme qu'il faut donner aux pierres précieuſes, pour leur faire produire tout le feu dont elles ſont ſuſceptibles; mais cette recherche, quelque agréable qu'elle puiſſe être, n'eſt pas faite pour nous occuper.

Ce qui nous importe de connoître, ce ſont les loix que la nature ſuit dans ces différentes productions, & de les appliquer avec avantage aux progrès des arts utiles.

Ce qui diſtingue principalement, aux yeux des Phyſiciens, le diamant des autres pierres cryſtalliſées, c'eſt ſa dureté, & ſur-tout la force avec laquelle il décompoſe la lumiere, par la forme priſmatique de ſes facettes.

Nous ſavons que les verres de plomp décompoſent, ainſi que le diamant, la lumiere beaucoup plus que les autres verres, & c'eſt en cela que conſiſte le jeu des ſtras, qui imitent par-là le feu des pierres précieuſes. Le plomb qui entre pareillement dans la compoſition du cryſtal d'Angleterre, connu ſous le nom de *flintglaſſ*, lui fait jouir du même avantage; & on a ſu, dans ces derniers tems, mettre à profit cette ſingulière propriété pour la perfection des lunettes, qu'on a rendues par-là acromatiques, c'eſt-à-dire, ſans couleurs.

On ſait donc maintenant que, plus il entre de plomb dans la compoſition d'un verre, plus il décompoſe fortement les couleurs, de ſorte que quelques Phyſiciens ont cru pouvoir juger de ſa qualité par ſon poids; mais les liqueurs légères, telles que l'éther, l'eſprit de vin & l'huile, renfermées dans des vaſes priſmatiques, don-

nent beaucoup plus de couleurs que l'eau ; ainsi la force disperſive des milieux ne tient pas à la peſanteur. D'autres Phyſiciens ont penſé, d'après les diverſes expériences, que la production des couleurs tenoit au phlogiſtique, c'eſt-à-dire, que plus un milieu tranſparent contient de phlogiſtique, plus il décompoſe fortement la lumière. D'après cette hypotheſe, il s'enſuivroit que l'éclat du diamant eſt dû à la grande quantité de phlogiſtique qu'il contient : des expériences chymiques, ſoigneuſement répétées, prouvent en effet que c'eſt une matiere tellement combuſtible, que le feu diſſipe au point de n'en laiſſer le moindre veſtige. Quoi qu'il en ſoit, ſa forme exaèdre, lorſqu'on l'examine en ſortant de la mine, lui donne un rapport avec les cryſtaux de roche, qui affectent tous une forme régulière dans leur cryſtalliſation : ce rapport m'a engagé à examiner ſi le diamant avoit, comme le cryſtal de roche, la double réfraction.

J'ai donc mis à cet effet, en uſage, le moyen, dont j'ai déjà rendu compte à l'Académie, non-ſeulement pour bien diſtinguer les phénomènes de la double réfraction, mais encore pour la meſurer avec la plus grande préciſion. J'ai reconnu que le diamant ne jouiſſoit pas de cette ſingulière propriété ; caractère qui le diſtingue eſſentiellement des cryſtaux de roche : il ne ſeroit pas moins intéreſſant d'éprouver ainſi les autres pierres tranſparentes, d'autant que nous avons prouvé qu'on pouvoit employer avec ſuccès la double réfraction à la meſure des petits angles ; & la matière qui produira la double réfraction la plus forte, ſera celle par laquelle on parviendra à meſurer de plus grands angles avec le même degré de préciſion. Un très-beau morceau de cryſtal d'Iſlande, que M. le Duc de la Rochefoucault m'a donné récemment, m'a prouvé la poſſibilité de l'employer à faire de bons micromètres ; & je peux meſurer, par ce moyen, le diamètre du ſoleil, qui eſt une détermination importante & fondamentale de l'aſtronomie, avec le même degré de préciſion que j'ai meſuré le diamètre des planètes, par des micromètres de cryſtal de roche, c'eſt-à-dire, à l'incertitude près du point de contact, qui, comme on ſait, dépend de la force de la lunette ; & cette incertitude ne va pas, dans ma lunette de 7 pieds, à un dixième de ſeconde.

Pour donner une juste idée de l'exactitude de ce micromètre, & faire voir en même-tems avec quelle précision on peut, sans appareil, & dans le moment, reconnoître à quelle distance on est d'un objet d'un diamètre donné, je vais rapporter le fait suivant.

Un artiste connu avoit mesuré la distance de ma chambre, au pavillon qui est au bout du jardin de la Meute : cet artiste avoit trouvé cette distance de 210 toises, &, d'après cette détermination, avoit tracé sur le mur des divisions, pour la construction d'un instrument que je lui avois commandé.

Convaincu de l'exactitude de cette mesure, j'avois fait placer à ce pavillon un cercle de six pouces de diamètre, pour fixer le rapport d'un carré de même diamètre à un cercle dans la détermination du point de contact : dès la première observation que je fis sur ce cercle, la promptitude avec laquelle on connoît la distance, me fit vérifier la détermination de cet artiste, sur laquelle je n'avois aucun soupçon. Je trouvai la distance de 230 toises; après plusieurs observations, qui toutes donnoient le même résultat, je vis qu'il y avoit une erreur de 20 toises dans la détermination prise. Je la mesurai avec soin, & je trouvai qu'effectivement cette distance étoit de 230 toises deux pieds, c'est-à-dire, à deux pieds près des observations, dont le degré de précision ne peut s'écarter que d'un dixième de seconde, erreur qui dépend, comme nous l'avons dit, de l'indécision du point de contact. Or, comme il est facile, par des micromètres de cryſtal d'Islande, de mesurer des angles de 30 min., l'erreur d'un dixième de seconde ne donne sur une distance de 3000 toises qu'une incertitude d'un pied : comment donc par les voies les plus pénibles, ayant égard à la dilatation des toises, aux inégalités du terrein, est-il possible d'atteindre à une précision plus grande? Ainsi ces micromètres ont l'avantage de déterminer sur terre les distances dont on se trouve d'un objet connu, tel qu'un homme dont la hauteur varie peu, ou des pièces d'artillerie sur lesquelles il y a encore moins de variation, &c. avec une précision & une facilité difficile à imaginer.

Je ne suivrai pas plus long-tems ces applications; j'observerai seulement que le cryſtal d'Islande qui a une

force réfringente très-considérable, ne m'a pas paru produire des couleurs proportionnées à sa réfringence. Je propose de suivre plus particulièrement une remarque aussi i portante, à laquelle je joindrai la partie électrique qui paroît aussi moindre que dans le crystal de roche.

Je certifie les présents Extraits conformes à leurs originaux & au jugement de l'Académie. A Paris, le 11 *Juin* 1777. Le Marquis DE CONDORCET.

EXTRAIT *des Registres de l'Académie Royale des Sciences.*

Du 23 Août 1777.

D'APRÈS la lecture faite dans la séance du 16, d'un écrit intitulé :

Mémoire sur un nouveau Micromètre & Mégamètre, présenté à Mgr. de Sartine, Ministre de la Marine ; par l'Abbé Boscovich, Directeur d'Optique pour la Marine, à son audience du 7 Mai 1777.

M. l'Abbé de Rochon a prié l'Académie, de vouloir bien être juge entre lui & l'Auteur du mémoire, touchant les prétentions que ce dernier paroissoit vouloir établir sur une découverte, à laquelle lui seul croyoit avoir des droits, en ayant déjà depuis long-tems entretenu l'Académie. En conséquence nous avons été nommés pour examiner cet objet de discussion, en rendre compte & donner notre avis ; c'est ce dont nous allons nous acquitter.

Un simple exposé des faits, un précis clair & succinct des travaux de M. l'Abbé de Rochon, & de l'état de ses recherches à l'époque de la lecture du Mémoire de M. l'Abbé Boscovich, mettront à portée de décider bien facilement auquel des deux concurrens appartient véritablement la découverte contestée.

M. l'Abbé de Rochon s'étoit occupé, dès l'année 1767, des moyens d'employer les prismes à la mesure des angles, en les appliquant à l'astromètre. C'est ce que l'on peut voir dans un des Mémoires imprimés

parmi ſes Opuſcules Mathématiques. Il ſe propoſoit, dans cet ouvrage, de rendre l'inſtrument de M. Bouguer propre à meſurer de plus grands angles, & il ſe ſervoit à cet effet de priſmes acromatiques qu'il plaçoit devant un des objectifs. Il eſt bien certain qu'alors, ſi l'héliomètre ne pouvoit meſurer, je ſuppoſe, par l'écartement ſeul de ces objectifs, qu'un angle de 12 deg., en l'armant d'un priſme dont la réfraction étoit de 6 deg., l'inſtrument meſuroit des angles juſqu'à 18 deg. La principale difficulté étoit, ſans doute, de rendre les priſmes acromatiques. L'Auteur diſoit y être parvenu, & avoir reconnu que les priſmes à trois verres étoient préférables aux priſmes compoſés de deux verres ſeulement.

Pluſieurs années après, c'eſt-à-dire en 1776, M. l'Abbé de Rochon s'occupa de nouveau des moyens de procurer aux priſmes ce parfait acromatiſme, ſi néceſſaire à la perfection des lunettes, & que l'on ne pouvoit ſe procurer juſqu'alors que par tâtonnement. Il y parvint, comme on le voit dans le Mémoire qu'il lut en préſence du Duc de Wirtemberg, le 24 Février 1776. Nous ne parlons ici de ces premiers eſſais, que pour faire voir la marche qu'il a ſuivie dans ſes recherches, & qui l'a conduit inſenſiblement à la découverte du nouveau micromètre. Ce fut à l'occaſion d'un travail particulier ſur les couleurs, communiqué à l'Académie le 13 Mars 1776, que M. l'Abbé de Rochon fit encore un nouveau pas. Cet Académicien cherchant à décompoſer la lumière d'une étoile, par le moyen de priſmes de verre adaptés au téleſcope, imagina de faire mouvoir l'un ſur l'autre deux priſmes de flintglaſſ, de 30 deg. chacun, pour repréſenter tous les priſmes depuis zéro juſqu'à 60 deg., & obtenir par-là toutes les dilatations du ſpectre, qui peuvent être opérées par tous les priſmes d'un angle au deſſous de 60 degrés.

D'après cette première idée, M. l'Abbé de Rochon ne fut pas long-tems à reconnoître combien on pouvoit tirer avantage pour la meſure des angles du mouvement circulaire dont il avoit fait uſage pour rendre ſes priſmes acromatiques, & ayant eu par la ſuite occaſion d'examiner plus particulièrement, qu'on ne l'avoit encore fait, la double réfraction du cryſtal

de roche, il imagina d'employer la singulière propriété de cette matière, conjointement avec le mouvement circulaire dont il avoit précédemment fait usage pour construire un micromètre, propre à mesurer des petits angles avec la dernière précision. Et c'est là l'objet de l'annonce que M. l'Abbé de Rochon fit à l'Académie, le 25 Janvier de cette année, d'un micromètre composé de deux prismes de cryſtal de roche de même angle, lesquels tournant circulairement l'un sur l'autre, donnoient la mesure des angles. Pour rendre ces prismes acromatiques, l'Auteur appliquoit sur chacun un prisme de verre ordinaire.

Voilà la première mention qui fut faite à l'Académie, de ce nouveau micromètre. M. l'Abbé de Rochon, peu de jours après, en présenta un modèle qui fut examiné & éprouvé dans la salle de l'Académie : personne ne dit avoir vu, ni entendu parler d'un instrument de ce genre, ou fait sur les mêmes principes.

Quoique dans cet état l'instrument répondît assez bien au but que M. l'Abbé de Rochon s'étoit proposé, cet Académicien s'apperçut bientôt qu'il pouvoit tirer encore un parti plus avantageux de ses prismes, & il ne tarda pas à imaginer une nouvelle construction, qui remédiant absolument à quelques imperfections de la première, rendoit son micromètre beaucoup plus simple, moins dispendieux & plus parfait. C'est ce que M. l'Abbé de Rochon fit connoître par un petit écrit, lu le 26 Février, sous le titre : d'*Addition au Mémoire sur un micromètre fait avec du cryſtal de roche*. Cette addition, ou ce changement fait au premier micromètre, consistoit à n'employer qu'un seul prisme de cryſtal de roche, combiné avec deux prismes de verre de France, & à le faire mouvoir le long de l'axe, dans l'intérieur de la lunette. Ce mouvement direct, substitué au mouvement circulaire, donne pour échelle des angles que l'on veut mesurer, toute la longueur comprise entre le foyer & l'objectif.

Voilà la véritable date, l'époque authentique de la découverte perfectionnée de M. l'Abbé de Rochon, établie d'une manière incontestable, d'après l'acte qu'il en a pris devant l'Académie & dans ses registres.

Ce n'est pas que l'invention n'eut, sans doute, précédé de plusieurs jours celui où elle fut communiquée

à l'aſſemblée. L'un de nous doit même cet hommage à la vérité, d'atteſter que le 16 Février ayant été invité par M. l'Abbé de Rochon, à venir chez lui, voir *quelque choſe qui l'intéreſſeroit :* il s'y rendit le 19 ; & après avoir eſſayé le nouveau micromètre priſmatique à mouvement circulaire, adapté à une lunette, il eut communication de la ſubſtitution du mouvement rectiligne, dont M. l'Abbé de Rochon lui fit la démonſtration ſur le papier, & ce n'eſt que huit jours après, que cet Académicien en parla à l'aſſemblée.

Dans les deux derniers Mémoires que nous venons de citer, M. l'Abbé de Rochon s'étoit contenté de donner en peu de mots le réſultat de ſes recherches, & d'indiquer ſeulement la diſpoſition des priſmes de ſon micromètre : mais ſe propoſant de multiplier ſes expériences, de faire l'application de ſon inſtrument aux meſures céleſtes, & de l'étendre même à la meſure de plus grands angles, il promit de donner par la ſuite un Mémoire plus détaillé ſur ces différens objets ; c'eſt celui dont en effet il fit lecture à la ſéance de la rentrée publique, le 9 Avril, & dont voici le titre :

Mémoire ſur le moyen d'employer la double réfraction à la meſure préciſe des petits angles, détermination des diamètres des planètes par cette méthode, & deſcription ſuccinte d'un inſtrument deſtiné à donner avec exactitude la diſtance de la lune aux étoiles, lorſque cette diſtance n'excède pas 20 degrés.

C'eſt à ce dernier mémoire qu'il faut nous arrêter & donner une attention particulière, puiſqu'il renferme un détail de toutes les recherches que M. l'Abbé de Rochon avoit faites juſqu'alors, avec leur réſultat, & que par-là il nous fournit un terme fixe de comparaiſon, pour juger ſi ce que M. l'Abbé Boſcovich a publié poſtérieurement, ajoute quelque choſe à la découverte & aux idées de l'Académicien.

Dans le Mémoire en queſtion, M. l'Abbé de Rochon explique de nouveau les deux conſtructions de ſon micromètre précédemment imaginées, c'eſt-à-dire, la première dans laquelle il employoit deux priſmes de cryſtal de roche acromatiques, mobiles circulairement l'un ſur l'autre. La deuxième, dans laquelle il ne faiſoit uſage que d'un ſeul priſme de cryſtal de roche acromatique, mobile intérieurement le long de l'axe de

de la lunette. L'Auteur rapporte enſuite l'eſſai qu'il a fait de ſon inſtrument, diſpoſé de cette dernière manière, à la détermination des diamètres de Mars, de Jupiter & de l'anneau de Saturne. Enfin, il s'occupe dans la dernière partie de ſon mémoire, de la meſure des grands angles, que ne peut lui donner la double réfraction du cryſtal de roche. En conſéquence, après avoir parlé de l'aſtromètre de M. Bouguer, de ſes défauts & des moyens de le perfectionner, il propoſe à cet effet de placer deux priſmes de verre de France à côté l'un de l'autre, au devant des objectifs fixes de cet inſtrument ; & faiſant tourner ces deux priſmes chacun ſéparément, circulairement ſur eux-mêmes, il prétend pouvoir meſurer des angles depuis zéro juſqu'à vingt degrés.

Voici donc une autre eſpèce de micromètre différent du premier, en ce que dans celui-ci, c'eſt le verre ordinaire que l'on emploie, & dans l'autre, c'eſt le cryſtal de roche. L'un ne peut meſurer que des angles de quelques minutes, l'autre meſure juſqu'à vingt degrés.

Nous ne devons pas laiſſer ignorer que, quoique M. l'Abbé de Rochon n'ait parlé à l'Académie de ce micromètre priſmatique de verre ſimple qu'à la ſéance du 9 Avril, il y avoit déjà bien long-temps qu'il l'avoit imaginé, comme le prouve un certificat que nous avons entre les mains, ſigné de M. le Marquis de Condorcet, & conçu en ces termes :

» Je certifie que le 27 Mars, M. l'Abbé de Rochon » m'a fait voir à Paſſi, un inſtrument deſtiné à me- » ſurer des angles, & où il n'employoit que deux » priſmes de verre ordinaire ; un de ces priſmes avoit » un mouvement circulaire, & par conſéquent l'inſ- » trument meſuroit des angles depuis zéro juſqu'au » double de l'angle formé par chaque priſme. Je cer- » tifie également que j'avois connoiſſance de cet inſ- » trument, même avant cette époque, & que M. » l'Abbé de Rochon m'en avoit expliqué la conſ- » truction le jour (5 Mars), que j'ai fait à l'Acadé- » mie le rapport de ſon mémoire ſur les micromètres, » où il emploie des priſmes de cryſtal de roche. Cet » inſtrument eſt le même dont M. l'Abbé de Rochon » a fait mention dans ſon mémoire de rentrée, comme

» destiné à mesurer de plus grands angles. A Paris, » ce 31 Mai 1777. *Signé* le Marquis de Condorcet. «

Tel est l'exposé fidèle des faits & des pièces authentiques qui viennent à l'appui ; tel est le contenu des Mémoires de M. l'Abbé de Rochon ; tel est le point jusqu'où il avoit poussé ses recherches avant que personne eût réclamé aucun droit sur ses idées qu'il avoit données comme nouvelles : son micromètre faisoit déjà depuis long-temps l'objet de l'attention & de l'entretien de plusieurs Savans. Quelques-uns avoient même été témoins de divers essais, & expériences qu'il avoit faits, relativement à cet objet, lorsqu'à la séance du 16 Mai, c'est-à-dire, plus d'un mois après la lecture du mémoire de rentrée ; on présenta, & on lut à l'Académie le Mémoire de M. l'Abbé Boscovich, qui a donné lieu aux plaintes de M. l'Abbé de Rochon, & dont il convient de donner ici en peu de mots l'extrait.

L'Auteur, au commencement de ce Mémoire, paroît vouloir insinuer qu'il avoit déjà eu les mêmes idées que M. l'Abbé de Rochon. Selon lui, dès qu'un de ses amis lui eut parlé de la première disposition du micromètre de M. l'Abbé de Rochon ; il dit tout de suite, qu'*il voyoit bien comment cela se faisoit - mais qu'il y auroit beaucoup plus à gagner, si l'on rendoit variable la distance du prisme au foyer de la lunet e*. Et ce ne fut que quelques jours après que le même ami lui annonça que M. l'Abbé de Rochon venoit d'imaginer de son côté, la même chose dont il lui avoit parlé dernièrement, c'est-à-dire, de rendre variable la distance du prisme au foyer de la lunette, en le faisant mouvoir le long de l'axe. Néanmoins M. l'Abbé Boscovich n'attache aucune prétention à la découverte de ce mouvement rectiligne des prismes ; il sent trop bien le peu d'authenticité d'une ouverture de ce genre, faite en particulier à un ami : aussi finit-il par dire très-judicieusement : *M. l'Abbé de Rochon a réellement lu à l'Académie son Mémoire, & on en a fait mention dans les Gazettes ; ainsi il a imaginé la même chose dans le même temps, & peut-être avant moi, & absolument sans avoir aucune connoissance de mes idées sur le même objet, de l'avoir annoncé le premier au Public, de l'avoir exécuté & de s'en être servi le premier ; ainsi je n'ai rien à pré-*

tendre de ce côté là : il a le mérite d'une belle découverte ; & l'Astronomie lui en aura toute l'obligation. Une pareille déclaration de la part de M. de Boscovich, ne laissant lieu à aucun doute ni à aucune contestation sur cet article, nous allons passer à un point plus essentiel, qui est l'objet véritable de son Mémoire.

M. l'Abbé de Rochon, dit M. Boscovich, *n'a employé pour son micromètre que la double réfraction du crystal de roche, & l'on m'a assûré qu'il a dit que son prisme ne pouvoit lui donner que jusqu'à six degrés.*

Nous ne pouvons nous empêcher de nous arrêter ici, & de faire remarquer que ce ne peut être que sur des rapports hazardés, que M. l'Abbé Boscovich a fondé une pareille assertion. M. l'Abbé de Rochon n'a pas employé seulement la double réfraction du crystal de roche, puisque dans son mémoire de rentrée, lu publiquement un mois avant que M. Boscovich écrivit ceci, il a donné la description d'un micromètre, composé de prismes de verre ordinaire, propres à mesurer des angles jusqu'à vingt degrés. Il est encore moins vrai que M. l'Abbé de Rochon ait dit que son prisme ne pouvoit mesurer que jusqu'à six degrés. On sait bien que la double réfraction du crystal de roche ne peut aller qu'à quelques minutes ; & M. l'Abbé de Rochon, en parlant d'une mesure d'angles de six degrés, ne pouvoit avoir en vue la mesure des angles par le crystal de roche ; ainsi cette seule expression de six degrés, que M. l'Abbé Boscovich ne donne que d'après les rapports qu'on lui a faits, prouve qu'il avoit été question de la mesure d'angles par les prismes de verre ordinaire.

Quoi qu'il en soit, en partant de cette fausse supposition, M. l'Abbé Boscovich poursuit, & dit : *ainsi je crois rendre un service encore plus considérable, en proposant cette autre espèce de micromètre à verre simple, en développant sa théorie, en l'étendant aux angles beaucoup plus grands.*

Voyons à présent la construction de ce micromètre, & examinons en quoi il peut différer de celui de M. l'Abbé de Rochon.

M. l'Abbé Boscovich propose successivement diverses constructions, qui ont toujours pour base, ou le mouvement circulaire, ou le mouvement rectiligne

des prismes inventés précédemment par l'Académicien.

Il paroît d'abord adopter le mouvement le long de l'axe d'un prisme de verre, qui ne couvre que la moitié de l'objectif. *En le poussant plus ou moins avant*, dit-il, *on changeoit la vivacité de la lumière des deux images, où l'on voyoit qu'on pouvoit les réduire à une clarté égale. En variant l'inclination de cette pièce, on varioit la distance des deux images qui n'avoit aucune variation en changeant hors de la lunette, la distance à l'objectif*, &c.

Mais un peu plus bas, il remarque très-judicieusement un des inconvéniens de ce mouvement rectiligne dans l'intérieur de la lunette pour les prismes de verre qu'il propose. *Il y a*, dit-il, *une raison particulière, pour laquelle on ne peut pas lui en donner un trop grand; car le rétrécissement du pinceau des rayons appartenant à chaque point de l'objet, ne permet pas de l'en éloigner trop; ce qui, vers le milieu du champ, affoibliroit trop l'image directe, en interceptant une trop grande partie du même pinceau, & à la fin la feroit perdre totalement.*

D'après cette considération, pour pouvoir employer le seul mouvement rectiligne à la mesure du diamètre des astres, M. l'Abbé Boscovich a recours à deux prismes, qui, par le mouvement circulaire, lui donne la réfraction nécessaire à l'observation qu'il se propose; ainsi, s'il veut mesurer le diamètre du soleil, qui est d'environ 32 min., il cherche par le mouvement circulaire de deux prismes l'un sur l'autre, à obtenir une réfraction plus forte que 32 min.; il la détermine ensuite par expérience, & la trouvant par exemple de 33 min., il se sert du mouvement rectiligne de ces mêmes prismes le long de l'axe, pour déterminer le diamètre du soleil, sans être obligé de les écarter beaucoup de l'objectif.

M. l'Abbé Boscovich passe ensuite à la mesure de grands angles, & voici la construction à laquelle il paroît s'arrêter.

On peut, dit-il, *multiplier les prismes composés acromatiques & à angles variables, en faisant que, l'un donne les degrés de 5 en 5, ou de 2 en 2, & l'autre les minutes. On peut en mettre deux dehors près de l'objectif qui changeront la distance des images par le mouvement*

circulaire, & donneront l'angle cherché un peu plus grand que le véritable, & un autre dedans qui donnera avec toute précision les secondes.

Voilà donc la véritable construction de l'instrument de M. l'Abbé Boscovich, pour mesurer de grands angles. Comparons-le à celui de M. l'Abbé de Rochon, connu plus d'un mois avant celui-ci.

L'Académicien met deux prismes de verre à côté l'un de l'autre devant les objectifs d'un astromètre, & les fait tourner circulairement. M. l'Abbé Boscovich met également devant l'objectif de sa lunette deux prismes de verre, & les fait tourner circulairement. L'Académicien s'en tient là : mais M. Boscovich craignant, sans doute, que le mouvement circulaire ne rende pas les secondes assez sensibles, se sert, pour les mesurer, d'un troisième prisme intérieur mû le long de l'axe.

Ce troisième prisme est donc la véritable & seule addition faite à l'instrument, dont M. l'Abbé de Rochon a lu publiquement la description le jour de la rentrée publique du 9 Avril : mais remarquons que le mouvement rectiligne de ce prisme le long de l'axe, est emprunté d'une découverte faite bien antérieurement par l'Académicien. D'ailleurs, dans cette dernière construction de M. l'Abbé Boscovich, le mouvement rectiligne ajoute-t-il de la précision au mouvement circulaire ? Car, qu'importe qu'on mesure exactement les secondes par l'un, si l'on n'a pas la mesure précise des minutes par l'autre.

Nous ne pouvons en conséquence penser autre chose, si ce n'est que M. l'Abbé Boscovich a été induit en erreur sur l'état des recherches & des découvertes de M. l'Abbé de Rochon ; que si on ne lui eut point fait des rapports infideles, s'il eût bien voulu ne s'en rapporter qu'à lui-même, pour l'informer & s'instruire des faits & des matières traités par l'Académicien, il n'auroit certainement pas présenté au Ministre & à l'Académie, comme neuves, des idées & des découvertes, dont l'honneur appartenoit déjà depuis long-temps à M. l'Abbé de Rochon. *Signé* le Chevalier de BORDA, BEZOUT, VANDERMONDE & CANNISI.

Je certifie le présent Extrait conforme à son original, & au jugement de l'Académie. A Paris, le 30 Août 1777. Le Marquis DE CONDORCET, Sec. Perp.

EXTRAIT des Registres de l'Académie Royale de Marine.

Extrait d'un Mémoire de M. l'Abbé de Rochon,

» SUR les moyens d'employer la double réfraction » du crystal de roche, à la mesure précise des petits » angles ; détermination du diamètre des planètes à » moins d'un dixième de seconde, par cette méthode » & description succinte de l'instrument destiné à » donner avec exactitude la distance de la lune aux » étoiles, lorsque cette distance n'excède pas vingt » degrés. Lu à la séance du premier Mai 1777.

» La construction suivante évite tous ces défauts : » Prenez deux prismes plans achromatiques ; j'ai déjà » donné le moyen facile de s'en procurer, qui don- » nent une forte réfraction sans produire de couleurs » même devant un bon télescope ; placez ces prismes » sur des cercles mobiles à côté l'un de l'autre ; si » chaque prisme donne une réfraction de trois de- » grés, il est palpable qu'on pourra obtenir des angles » depuis zéro jusqu'à six degrés, & chaque minute » répondra sur chaque cercle à un degré. Placez » cet instrument devant une lunette, de sorte qu'il » soit à une bonne distance de l'objectif, vous jugerez » par là le contact des images, sans avoir cette obli- » quité si préjudiciable à la vision ; on sent que l'é- » cartement de cet instrumeut de l'objectif, doit être » proportionné à son usage & à sa commodité.

» Les limites qui nous sont prescrites, ne me per- » mettent pas de m'étendre davantage sur ce sujet, » quelque important qu'il puisse être ; j'ajouterai seu- » lement qu'on peut appliquer deux systêmes des » prismes achromatiques l'un sur l'autre qui donnent » en somme une réfraction de dix degrés ; par là on

» mesurera des angles ou des distances de la lune aux
» étoiles jusqu'à vingt degrés : il est peut-être pos-
» sible d'étendre cet instrument à des angles plus
» grands, lorsque la lunette dont on se servira n'am-
» plifiera que quatre ou cinq fois les diamètres des
» objets, & on sait qu'un plus fort grossissement est
» incommode à la mer dans les cercles ou *instrumens* à
» réflexions à cause des mouvemens du vaisseau. «

Je certifie le présent Extrait que j'ai délivré, en vertu de la délibération du 9 Octobre dernier, conforme à l'original. A Brest, le 13 Octobre 1777. DE MAGUERY, Secrétaire.



Table qui ſert à déterminer l'angle qui réſulte de deux priſmes *poſés l'un ſur l'autre ; l'angle de chaque* priſme *eſt ſuppoſé de trente minutes, afin que ces deux* priſmes *puiſſent, par leur poſition reſpective, faire le même effet qu'un ſeul* priſme, *dont l'angle ſeroit variable depuis zéro juſqu'à un degré : car lorſque les angles des deux priſmes*

A	B		A	B		A	B	
0^d	0′ 0″	32″	15^d	7′ 50″	31″	30^d	15′ 32″	30″
1	0 32		16	8 21		31	16 2	
2	1 3		17	8 52		32	16 32	
3	1 34		18	9 23		33	17 2	
4	2 6		19	9 54		34	17 32	
5	2 37		20	10 25		35	18 2	
6	3 8		21	10 56		36	18 32	
7	3 39		22	11 27		37	19 2	
8	4 11		23	11 58		38	19 32	
9	4 42		24	12 29		39	20 2	
10	5 14	31	25	12 59		40	20 31	
11	5 45		26	13 30		41	21 1	
12	6 16		27	14 1	30	42	21 30	
13	6 47		28	14 31		43	22 0	
14	7 19		29	15 1		44	22 29	29

ſont dans le même ſens, alors leurs ſurfaces extérieures font un angle d'un degré ; mais lorſque la baſe de l'un répond au ſommet de l'autre, leurs ſurfaces extérieures deviennent paralleles. Ce point eſt celui de zéro, la colonne A *déſigne l'angle de poſition des priſmes, & la colonne* B *l'angle du priſme variable.*

A	B		A	B		A	B	
45^d	22′ 58″	29″	60^d	30′ 0″	27″	75^d	36′ 31″	25″
46	23 27		61	30 27		76	36 56	
47	23 56		62	30 54		77	37 21	
48	24 24		63	31 21		78	37 46	
49	24 53		64	31 48		79	38 10	24
50	25 21		65	32 15		80	38 34	
51	25 50	28	66	32 41		81	38 58	
52	26 18		67	33 7	26	82	39 22	
53	26 46		68	33 33		83	39 46	
54	27 14		69	33 59		84	40 9	23
55	27 42		70	34 25		85	40 32	
56	28 10		71	34 51		86	40 55	
57	28 38		72	35 16		87	41 18	
58	29 6	27	73	35 41	25	88	41 41	
59	29 33		74	36 6		89	42 3	22

TABLE *qui sert à déterminer l'angle qui résulte de deux* prismes *posés l'un sur l'autre ; l'angle de chaque* prisme *est supposé de trente minutes, afin que ces deux* prismes *puissent, par leur position respective, faire le même effet qu'un seul* prisme, *dont l'angle seroit variable depuis zéro jusqu'à un dégré : car lorsque les angles des deux prismes*

A	B		A	B		A	B	
90^d	42′ 26″	22″	105^d	47′ 36″	19″	120^d	51′ 58″	16″
91	42 48		106	47 55		121	52 14	
92	43 10		107	48 13		122	52 29	15
93	43 32		108	48 32		123	52 44	
94	43 53		109	48 51		124	52 59	
95	44 15		110	49 9	18	125	53 14	
96	44 36	21	111	49 27		126	53 29	
97	44 57		112	49 45	17	127	53 43	
98	45 17		113	50 2		128	53 56	
99	45 38		114	50 19		129	54 10	13
100	45 58	20	115	50 36		130	54 23	
101	46 18		116	50 53		131	54 36	
102	46 38		117	50 10		132	54 49	
103	46 58		118	51 26	16	133	55 2	
104	47 17	19	119	51 42		134	55 14	12

ſont dans le même ſens, alors leurs ſurfaces extérieures font un angle d'un dégré ; mais lorſque la baſe de l'un répond au ſommet de l'autre, leurs ſurfaces extérieures deviennent paralleles. Ce point eſt celui de zéro, la colonne A *déſigne l'angle de poſition des priſmes, & la colonne* B *l'angle du priſme variable.*

A	B		A	B		A	B	
135^{d}	$55' \ 26''$	$12''$	150^{d}	$57' \ 57''$	$8''$	165^{d}	$59' \ 29''$	$4'$
136	55 38		151	58 5		166	59 33	
137	55 50		152	58 13		167	59 37	
138	56 1		153	58 21		168	59 41	3
139	56 12	11	154	58 28	7	169	59 44	
140	56 23	10	155	58 35		170	59 46	
141	56 33		156	58 41		171	59 49	
142	56 43		157	58 48	6	172	59 51	2
143	56 53		158	57 54		173	59 53	
144	57 4	9	159	59 0		174	59 55	
145	57 14		160	59 5		175	59 57	1
146	57 23		161	59 11	5	176	59 58	
147	57 32		162	59 16		177	59 59	
148	57 40	8	163	59 21		178	59 59	
149	57 48		164	59 25	4	180	60 0	

TABLE qui sert à déterminer les rapports de réfraction de tous les milieux, tant fluides que solides. La colonne A comprend ces rapports, & les colonnes B donnent les réfractions qui ont lieu dans les prismes, dont les angles sont désignés à la tête de chaque colonne.

A	B 1^d	B 2^d	B 4^d
1,30	18′	36′	1^d 12′
1,32	19′ 12″	38′ 24″	1^d 16′ 48″
1,34	20 24	40 48	1 21 37
1,36	21 36	43 12	1 26 25
1,38	22 48	45 36	1 31 14
1,40	24	48	1 36 2
1,42	25 12	50 24	1 40 51
1,44	26 24	52 48	1 45 39
1,46	27 36	55 12	1 50 28
1,48	28 48	57 36	1 55 16
1,50	30	1	2 0 5
1,52	31 12	1 2 24	2 4 53
1,54	32 24	1 4 48	2 9 41
1,56	33 36	1 7 12	2 14 29
1,58	34 48	1 9 36	2 19 1
1,60	36	1 12	2 24 5
1,62	37 12	1 14 24	2 28 54
1,64	38 24	1 16 48	2 33 42
1,66	39 36	1 19 12	2 38 32
1,68	40 48	1 21 36	2 43 20
1,70	42	1 24	2 48 10

TABLE qui sert à déterminer les rapports de réfraction de tous les milieux, tant fluides que solides. La colonne A comprend ces rapports, & les colonnes B donnent les réfractions qui ont lieu dans les prismes dont les angles sont désignés à la tête de chaque colonne.

A	B 6d			B 8d			B 10d		
1,30	1d	47′	42″	2d	24′	11″	3d	0′	40″
1,32	1	54	57	2	33	51	3	12	40
1,34	2	2	12	2	43	33	3	25	
1,36	2	9	27	2	53	13	3	27	
1,38	2	16	42	3	2	53	3	49	
1,40	2	23	57	3	12	33	4	1	
1,42	2	31	12	3	22	13	4	13	
1,44	2	38	27	3	31	53	4	25	20
1,46	2	45	42	3	41	33	4	37	20
1,48	2	52	57	3	51	13	4	49	20
1,50	3	0	12	4	0	53	5	1	40
1,52	3	7	27	4	10	33	5	13	20
1,54	3	14	42	4	20	13	5	25	40
1,56	3	21	57	4	29	53	5	37	40
1,58	3	29	12	4	39	33	5	50	
1,60	3	36	27	4	49	13	6	2	
1,62	3	43	42	4	58	53	6	14	
1,64	3	43	57	5	8	33	6	26	
1,66	3	58	13	5	18	13	6	38	20
1,68	4	5	28	5	27	53	6	50	20
1,70	4	12	44	6	37	32	7	2	29

TABLE qui sert à déterminer les rapports de réfraction de tous les milieux, tant fluides que solides. La colonne A comprend ces rapports, & les colonnes B donnent les réfractions qui ont lieu dans les prismes dont les angles sont désignés à la tête de chaque colonne.

A	B 12d			B 14d			B 16d		
1,30	3d	37′	12″	4d	13′	44″	4d	51′	0″
1,32	3	51	47	4	30	48	5	10	35
1,34	4	6	21	4	47	52	5	30	10
1,36	4	2	56	5	4	56	5	49	45
1,38	4	35	30	5	22	1	6	9	21
1,40	4	50	5	5	39	5	6	18	56
1,42	5	4	39	5	56	9	6	48	31
1,44	5	19	14	6	13	13	7	8	6
1,46	5	33	48	6	30	18	7	27	42
1,48	5	48	23	6	47	22	7	47	17
1,50	6	2	57	7	4	26	8	6	52
1,52	6	17	32	7	21	30	8	26	27
1,54	6	32	6	7	38	35	8	46	3
1,56	6	46	41	7	55	39	9	5	38
1,58	7	1	15	8	12	43	9	25	13
1,60	7	15	50	8	29	47	9	44	48
1,62	7	30	29	8	46	52	10	4	24
1,64	7	45	4	9	3	56	10	23	59
1,66	7	59	33	9	21		10	43	34
1,68	8	14	8	9	38	4	11	3	9
1,70	8	28	44	9	55	8	11	22	44

TABLE *qui sert à déterminer les rapports de réfraction de tous les milieux, tant fluides que solides. La colonne* A *comprend ces rapports, & les colonnes* B *donnent les réfractions qui ont lieu dans les prismes dont les angles sont désignés à la tête de chaque colonne.*

A	B 18ᵈ			B 20ᵈ			B 60ᵈ	
1,30	5ᵈ	28′	20″	6ᵈ	5′	40″	21ᵈ	41′
1,32	5	50	30	6	30		22	34
1,34	6	12	39	6	55		24	8
1,36	6	34	49	7	19	20	25	40
1,38	6	56	58	7	44		27	16
1,40	7	19	8	8	8	20	28	50
1,42	7	41	17	8	33	20	30	28
1,44	8	3	27	8	58		32	6
1,46	8	25	36	9	22	20	33	44
1,48	8	7	46	9	47	40	35	28
1,50	9	9	55	10	12		37	10
1,52	9	32	5	10	36	20	38	54
1,54	9	54	14	11	1	20	40	42
1,56	10	16	24	11	26		42	30
1,58	10	38	33	11	51	20	44	22
1,60	11	0	43	12	16		46	14
1,62	11	22	52	12	40	40	48	10
1,64	11	45	2	13	5	40	50	8
1,66	12	7	12	13	30	40	52	12
1,68	12	29	32	13	55	40	54	16
1,70	12	51	32	14	20	20	56	22

Table destinée à donner la distance, lorsque le diamètre de l'objet est connu, ou à déterminer le diamètre de l'objet avec une très-grande précision, dans le cas que la distance fût connue, dans la supposition de la mesure précise de l'angle sous lequel l'objet paroît. Cette Table ne s'étend que jusqu'à 20 minutes, parce que la double réfraction du crystal de roche, qui sert à donner cette mesure précise, n'en comporte pas davantage.

	0″	10″	20″	30″	40″	50″
0′	0	20625	10312	6876	5156	4126
1	3438	2949	2579	2292	2063	1879
2	1719	1586	1473	1379	1298	1213
3	1146	1085	1031	982	938	897
4	860	825	793	764	737	711
5	688	665	645	626	607	589
6	573	557	543	529	516	503
7	491	479	469	458	448	439
8	430	421	412	404	397	389
9	382	375	368	362	355	349
10	344	338	333	328	322	317
11	312	308	303	299	295	291
12	287	283	279	275	271	268
13	264	261	258	255	252	248
14	246	243	240	237	235	232
15	229	227	224	222	220	217
16	215	213	210	208	206	204
17	202	200	198	196	195	193
18	191	189	188	186	184	183
19	181	179	178	176	175	173
20	172	170	169	167	166	165



ESSAI

SUR LA MESURE DES ANGLES par des Prismes de cryſtal de roche & de verre : Détermination des diamètres des Planètes par ces méthodes ; & différentes Recherches qui concernent principalement l'analyſe des Couleurs, & les Lunettes Achromatiques.

SOIT qu'on regarde la lumière comme un fluide répandu dans l'Univers, ou qu'on la ſuppoſe émaner des corps lumineux ; on peut toujours conſidérer chaque particule d'un corps, ou lumineux par lui-même, ou jouiſſant d'une lumière empruntée, comme le centre d'un atmoſphère lumineux. La projection des ombres & la privation de lumière, cauſées par l'interpoſition d'un objet opaque entre l'œil & le corps lumineux, prouvent que chaque filet de lumière ſuit la ligne droite ;

& parce qu'il eſt en même temps rayon de la ſphère lumineuſe qui entoure chaque point, les Opticiens lui ont donné le nom de *rayon de lumière.*

Lorſqu'un rayon de lumière vient à rencontrer obliquement un corps, il eſt détourné de ſa route, même avant de le toucher.

Ce corps peut être liſſe ou raboteux, perméable à la lumière ou imperméable. S'il eſt liſſe & imperméable à la lumière, le rayon lumineux ſe réfléchit, de manière que l'angle de réflexion eſt égal à celui d'incidence.

Telle eſt la loi qui s'obſerve invariablement dans les miroirs, quelle que ſoit leur forme ; & ce principe ſert uniquement de baſe à cette partie de l'Optique, déſignée par le nom de *Catoptrique.*

Mais ſi le corps dont il eſt mention eſt perméable à la lumière, alors le rayon lumineux change de direction en le traverſant ; & l'expérience a fait connoître que les ſinus des angles d'incidence & de réfraction étoient dans un rapport à-peu-près conſtans. De-là cette ſeconde branche de l'Optique, connue ſous le nom de *Dioptrique.*

Les différens corps diaphanes ou tranſ-

parens, ſoit ſolides ou fluides, que les Phyſiciens comprennent ſous le terme générique de *milieu*, ſont du reſſort de la Dioptrique. Quant aux corps raboteux, ils réfléchiſſent la lumière dans tous les ſens, tellement qu'ils ſont, à l'égard de nos yeux, le même effet que les corps lumineux par eux-mêmes. On peut donc les conſidérer ſous le même aſpect : en cela ils diffèrent bien eſſentiellement d'un miroir, ou d'un milieu qui ſeroit abſolument inviſible, s'il réfléchiſſoit ou réfractoit régulièrement toute la lumière qui tombe ſur ſa ſurface.

De la Réfraction.

Les angles d'incidence & de réfraction ſont dans un ſeul & même plan.

Lorſqu'un rayon paſſe d'un milieu plus rare dans un milieu plus denſe, la réfraction ſe fait en approchant de la perpendiculaire; d'où l'on voit que l'angle de réfraction ſe trouve, en ce cas, moindre que celui d'incidence.

Quand la réfraction ſe fait de l'air dans l'eau, l'expérience nous apprend qu'alors le ſinus d'incidence eſt au ſinus de réfraction, comme 133 à 100 : mais lorſque la réfraction ſe fait de l'air dans le verre ordinaire,

les ſinus d'incidence & de réfraction ſont ſenſiblement comme 155 à 100. Si un rayon de lumière traverſe un milieu, & que les deux ſurfaces traverſées par ce rayon ſoient parallèles entr'elles, alors le rayon émergent ſort parallèle à l'incident.

Mais ſi les deux ſurfaces ſont inclinées, il eſt palpable que le rayon émergent fera un angle avec le rayon incident.

Des Priſmes.

Les Opticiens nomment *priſme* tout milieu dont les deux ſurfaces ſont inclinées, & angle du priſme l'inclinaiſon que les deux ſurfaces ont entr'elles.

On ſent qu'on peut donner la forme priſmatique même aux milieux fluides ; il ſuffit pour cela de les recevoir dans des vaſes priſmatiques de verre.

Ces priſmes fluides ont eu pendant long-temps ſur les priſmes de matières ſolides, l'avantage d'être ſuſceptibles de variation ; car en rendant mobiles les deux plaques de verre qui entrent néceſſairement dans la conſtruction du vaſe priſmatique, deſtiné à recevoir la liqueur, leurs différentes inclinaiſons donnent au priſme fluide l'angle convenable aux expériences qu'on ſe propoſe.

On doit à feu M. Clairaut d'avoir conçu le premier la poſſibilité d'un priſme ſolide à angle variable.

Ce grand Géomètre dit (dans un Mémoire lu à l'Aſſemblée publique du 8 Avril 1761 (*a*)) que, pour avoir un priſme de verre ſuſceptible de variation, il rendit cylindrique la ſurface d'un de ſes priſmes.

C'eſt en ſuppoſant le cercle un polygone d'une infinité de côtés, qu'on peut ſe permettre d'enviſager un ſegment cylindrique comme un aſſemblage de petits priſmes, dont les angles ſont d'autant plus grands qu'ils s'éloignent du milieu du ſegment.

Cette ſuppoſition exige donc que la fente, par laquelle on introduit la lumière ſur le ſegment cylindrique, ſoit, dans le ſens de l'arc, ſi petite qu'elle ſe confonde ſenſiblement avec la ligne droite, tandis que ſa longueur, dans le ſens de l'axe du cylindre, eſt illimitée.

On peut encore, au lieu de priſmes cylindriques, faire uſage de priſmes ſphériques; mais alors l'ouverture du priſme eſt également petite dans tous les ſens. Cette conſtruction, qui eſt due au Pere Abat,

(*a*) Memoires de l'Académie, année 1756, page 350.

n'ajoute donc rien à l'idée ingénieuſe de M. Clairaut.

Ces ſegmens cylindriques ou ſphériques ſont des priſmes. d'un uſage fort limité. J'imaginai de leur ſubſtituer deux priſmes égaux, qui, par leur poſition reſpective, donnent tous les angles compris depuis zéro juſqu'au double de chacun en particulier.

En effet, ſoit un priſme de verre de quatre pouces de long ſur deux pouces de large, & d'un angle de trente degrés, ce verre coupé par le milieu donne deux priſmes égaux de trente degrés chacun.

Au lieu de la forme quarrée, on leur donne une forme circulaire, pour rendre l'appareil moins volumineux. Lorſqu'on poſe ces deux priſmes l'un ſur l'autre, ils ne font plus que l'effet d'un ſeul priſme; mais on a l'avantage, en les tournant l'un ſur l'autre, d'en varier l'angle à volonté; car, lorſque la baſe de l'un répond au ſommet de l'autre, leurs ſurfaces extérieures deviennent parallèles; quand au contraire la baſe de l'un répond à la baſe de l'autre, ainſi que leur ſommet, alors les deux ſurfaces extérieures font un angle de ſoixante degrés : ainſi le mouvement circulaire

de deux priſmes l'un ſur l'autre, repréſente un ſeul priſme dont l'angle eſt variable. On ſent que dans cette conſtruction l'ouverture eſt illimitée, ce qui donne à ce priſme composé une ſupériorité bien grande ſur les priſmes cylindriques ou ſphériques. Ce fut le 24 Février 1776, que je fis connoître à l'Académie cette eſpèce de priſme. Mais avant d'entrer à ce ſujet dans plus de détail, il n'eſt pas inutile de mettre ici ſous les yeux du Lecteur les principaux uſages du priſme ordinaire.

Cet inſtrument a ſervi à faire connoître à Newton la force réfringente des milieux, & la différente réfrangibilité des rayons de lumière : mais avant de l'employer à ces recherches, il faut connoître l'angle du priſme avec préciſion. Smith dit qu'il ſuffit de diſpoſer ſur une table bien dreſſée deux règles, juſqu'à ce qu'elles co-incident avec les côtés du priſme : deux lignes tracées ſelon leur direction, donnent l'angle, dont on prend la meſure, par un rapporteur bien diviſé.

Il me ſemble que la réflexion de la lumière, par chaque ſurface du priſme, donneroit plus de préciſion ; mais je préfère de faire tailler exactement les priſmes ſelon l'angle qu'il convient de leur donner.

Cette méthode eſt d'une pratique facile ; & elle eſt certainement très-commode. Quoique la réfraction ſoit non-ſeulement en raiſon de l'angle du priſme, mais encore de l'incidence plus ou moins grande de la lumière ſur leur ſurface, on peut éviter les variations qui réſultent des différentes incidences, en rendant l'angle que les rayons incidens font avec la première ſurface du priſme, égal dans tous les cas à celui que les rayons émergens font avec la ſeconde ſurface. Pour remplir cette condition, Newton a fait mouvoir ſon priſme juſqu'à ce que l'objet lui parût ſtationnaire. En effet, lorſqu'on regarde un objet par un priſme, dont l'axe eſt horizontal & le ſommet de l'angle dirigé vers la terre, la réfraction cauſée par le priſme fait paroître l'objet plus bas qu'il n'eſt réellement, & la différence entre la hauteur apparente & la hauteur réelle donneroit, dans ce cas, l'effet de la réfraction. Mais nous avons dit qu'un changement dans l'incidence de la lumière ſur la ſurface du priſme, augmenteroit ou diminueroit la réfraction : il eſt donc une poſition du priſme où la différence entre les hauteurs apparentes & réelles eſt la plus petite poſſible. Or, l'expérience fait trou-

ver promptement cette poſition, qui eſt telle, que les rayons incidens & émergens font avec les ſurfaces du priſme des angles égaux. Tous les Livres d'Optique le démontrent, & Newton a fait voir que dans cet état le priſme change les dimenſions de l'objet moins que dans toute autre poſition. Soit ABC (*fig.* 1) l'angle que les deux ſurfaces d'un priſme de verre ordinaire ABC font entr'elles, ſoit *fd* le rayon qui traverſe le priſme, & ſoit enfin le rapport des ſinus d'incidence au ſinus de réfraction, en paſſant du verre dans l'air comme 100 à 155; ſuppoſons l'angle ABC de vingt degrés, & que les rayons incidens & émergens faſſent, avec les ſurfaces AB, BC de ce priſme, des angles égaux : il eſt palpable que dans ce cas le triangle *f*B*d* ſera iſocelle, puiſqu'il faut que le rayon *fd* qui traverſe le priſme ait la même inclinaiſon ſur les deux côtés AB & BC, ſans quoi les réfractions, à l'entrée & à la ſortie de chaque ſurface, ſeroient inégales, ce qui ſeroit contre l'hypothèſe.

L'angle ABC ou *f* B *d*, étant de vingt degrés, les angles *df* B & *f d* B ſeront néceſſairement de quatre-vingt degrés; donc l'angle d'incidence du rayon *fd* qui

traverse le prisme, sera de dix degrés avec la perpendiculaire à chaque surface AB, BC.

Or, le sinus de l'angle d'incidence, qui est de dix degrés, sera au sinus de l'angle de réfraction, que l'on cherche comme 100 à 155; donc cet angle de réfraction sera de 15 d. 36 m.; donc les rayons incidens & émergens font, avec les perpendiculaires aux surfaces du prisme, deux angles égaux de 15 d. 37 m. chacun; donc l'effet de la réfraction, produit par le prisme, est égal au double de l'angle de 15 d. 37 m. dont on retranchera l'angle du prisme qui est de 20 d.: par conséquent la réfraction dans un prisme de verre d'un angle de 20 d., est de 11 d. 14 m. à-peu-près : en prenant la différence dans les hauteurs d'un objet vu directement & par le prisme, ce qui est très-facile avec un graphomètre ou un quart de cercle, on trouveroit cette même réfraction: ainsi connoissant l'angle du prisme & la réfraction par expérience, on aura le rapport des sinus d'incidence & de réfraction qui ont lieu dans les différens milieux fluides & solides. Tel est l'objet que je me suis proposé dans la table qui se trouve à la fin de cet Ou-

vrage, & qui dispense du calcul, dont nous venons de donner un exemple.

Si dans le triangle *f* B *d*, l'angle B *fd*, au lieu d'être de 80 d. étoit de 90 d., l'angle B *d f* deviendroit nécessairement de 70 d., l'angle du prisme *f* B *d* restant toujours de 20 d. : le rayon *d f*, en sortant du prisme par la surface A B, ne se réfractera pas, puisqu'il est perpendiculaire à cette surface; mais ce même rayon sortant par l'autre surface B C, aura une réfraction considérable, & on la déterminera par cette proportion : le sinus de l'angle d'incidence, qui est de 20 d., est au sinus de l'angle de réfraction, qui est l'angle cherché, comme 100 est à 155; donc l'angle que ce rayon fait avec la perpendiculaire à la surface B C, est de 32 d. à-peu-près : si l'on retranche de 32 d. l'angle du prisme qui, comme nous l'avons déjà dit, est de 20 d., il restera pour la différence, entre la hauteur réelle de l'objet & sa hauteur apparente 12 d. à-peu-près.

Si l'angle B *f d*, au lieu d'être de 90 d. étoit de 70 d., l'angle B *d f* deviendroit de 90; ainsi la réfraction seroit la même dans ce second cas : d'où l'on voit que la réfraction augmente à raison de l'iné-

galité des angles B $d f$ & B $f d$, & qu'ainſi il faudroit connoître cette inégalité pour déterminer ou la réfraction, ou les pouvoirs réfringens des milieux.

Il eſt inutile de nous arrêter plus long-temps ſur l'utilité d'avoir la réfraction proportionnelle à l'angle du priſme, ſans être obligé d'avoir égard à l'incidence de la lumière ſur la ſurface du priſme : auſſi Newton a-t-il choiſi cette poſition déterminée du priſme, principalement dans l'analyſe qu'il a donnée des couleurs, & dont nous allons nous occuper.

Je préſentai à l'Académie, le 13 Mars 1776, un Eſſai ſur le même ſujet ; je crois devoir ici le rendre mot pour mot, tel enfin que je l'ai lu à la ſéance du 20 Mars, parce qu'on y a trouvé des aſſertions qui ont éprouvé de grandes oppoſitions. Les Réflexions qui ſe trouveront à la ſuite de cet Eſſai, ſerviront à redreſſer les articles qui ſont ſuſceptibles de conteſtations, & jeteront peut-être un nouveau jour ſur ce ſujet.



RECHERCHES

Sur la nature de la lumière des Etoiles fixes,

Présentées, le 13 Mars 1776,

A L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES;

Lues le 20 Mars.

CE fut Newton qui nous apprit le premier, que la lumière émanée du Soleil, étoit composée de rayons différemment réfrangibles.

Le prisme, cet instrument si stérile dans les mains des Physiciens qui l'avoient précédé, lui servit à faire l'analyse de la lumière & des couleurs. Dès que Newton eut tracé, dans son Traité d'Optique, la route qui l'avoit conduit à ses immortelles découvertes, les Physiciens s'empressèrent de répéter les expériences qu'il indiquoit.

Ceux qui crurent l'avoir trouvé en défaut dans quelques expériences délicates, furent bientôt redressés par ceux qui y avoient porté plus de soin; de sorte que jusqu'en 1755, année où M. Klingentierna jeta des doutes sur les loix de réfraction, établies par ce grand Géomètre,

aucune de ſes expériences n'avoit ſouffert la plus légère atteinte.

La propoſition de Newton, conteſtée par M. Klingentierna, eſt énoncée en ces termes, dans ſon Traité d'Optique, Edition Françoiſe, page 145.

» J'ai trouvé, dit Newton, que lorſque » la lumiere paſſe de l'air à travers dif- » férens milieux contigus, réfringens, » comme à travers l'eau & le verre, & » repaſſe de là dans l'air, ſoit que les » ſurfaces réfringentes ſoient parallèles » ou inclinées l'une & l'autre; j'ai trouvé, » dis-je, que toutes les fois que cette lu- » mière eſt redreſſée par des réfractions » contraires, de telle manière qu'elle » ſorte en lignes parallèles à celles ſelon » leſquelles elle étoit tombée, elle reſte » enſuite toujours blanche; mais que ſi » les rayons émergens ſont inclinés aux » incidens, la blancheur de la lumière » émergente devient par degré colorée » dans ſes extrêmités, à meſure qu'elle » s'éloigne du lieu de ſon émerſion; c'eſt » de quoi j'ai fait l'épreuve, en rom- » pant la lumière avec des priſmes de » verres enchaſſés dans un vaſe priſma- » tique plein d'eau. »

Les doutes de M. Klingentierna, ſur

cette propoſition, engagèrent M. Dollond à répéter l'expérience de Newton. M. Dollond trouva un réſultat différent de celui de ce grand Géomètre ; & par-là l'obſtacle qui arrêtoit les Opticiens dans la conſtruction de lunettes plus parfaites, fut abſolument levé.

Ainſi une expérience manquée par Newton, a arrêté juſqu'en 1759 les progrès de la Dioptrique ; & ce qui n'eſt peut-être pas moins ſurprenant, c'eſt que Newton, ſi ſoigneux à décrire & à varier les expériences intéreſſantes, ſe ſoit ſi peu étendu ſur celle-ci.

Lorſqu'on rompt la lumière avec des priſmes de verre, enchaſſés dans un vaſe priſmatique plein d'eau, on peut obſerver que toutes les fois que les rayons émergens ſont parallèles aux incidens, la décompoſition de la lumière eſt toujours en raiſon de la différence des pouvoirs réfringens des milieux & de la grandeur des angles des priſmes : or, ſi la différence dans la diſperſion produite par chaque milieu n'eſt pas grande, les franges de couleurs dont l'image du Soleil eſt bordée, échappent à la vue ſimple, à moins que les angles des priſmes ne ſoient très-conſidérables. Mais ſi cet examen ſe fait

par le téleſcope armé des mêmes priſmes, les franges de couleurs inſenſibles à la vue, deviennent en ce cas d'autant plus ſenſibles que le pouvoir amplifiant du téleſcope eſt plus grand.

Le moyen que j'ai employé avec ſuccès, à la détermination préciſe du rapport de diſperſion dans des verres de denſités différentes, peut s'appliquer également aux autres expériences de ce genre, indiquées par Newton; & ſi la décompoſition de la lumière, examinée au téleſcope, préſente des phénomènes qui n'aient pas été apperçus, dois-je craindre de les rapporter, quand ils ſeroient même en oppoſition avec les aſſertions les plus généralement adoptées, puiſque l'effet obtenu par cette voie, eſt à l'effet produit par les méthodes ſuivies juſqu'à ce jour, comme la grandeur apparente d'un objet vu par un téleſcope, eſt à la grandeur apparente du même objet, vu directement? S'il reſte encore quelques doutes ſur ce ſujet, les recherches ſuivantes ſur l'analyſe de la lumiere des étoiles fixes, ſeront, je penſe, plus que ſuffiſantes pour les diſſiper.

La difficulté de ſe procurer dans la chambre la plus obſcure, un ſpectre aſſez

vif

vif & aſſez étendu pour diſtinguer les différentes couleurs qui réſultent de la décompoſition de la lumiere de l'étoile la plus brillante, me fit imaginer d'employer à cette recherche le téleſcope armé de priſmes de différens angles & de différentes denſités. Mon téleſcope amplifie les diamètres des objets quarante fois, & les priſmes que j'y ai adaptés ſont de flintglaſſ, de verre, & de crownglaſſ, leſquels me procurent, par leur poſition reſpective des angles, depuis zèro juſqu'à ſoixante degrés; ainſi je ſuis maître par-là de l'étendue du ſpectre que je peux reſſerrer dans des bornes connus & convenables aux recherches que je me propoſe.

L'inſtrument ainſi diſpoſé, j'examinai d'abord Syrius : l'image de cette étoile me parut n'être dilatée que dans le ſeul ſens de l'angle réfringent du priſme; ſa forme étoit celle d'un ovale alongé dans le rapport de la grandeur des angles réfringens des priſmes. Lorſque l'angle réfringent des priſmes étoit de 14 d., le grand axe du ſpectre occupoit tout le champ du téleſcope, tandis que le petit axe avoit à peine un diamètre ſenſible. Les couleurs les plus remarquables étoient le rouge ceriſe fort vif, le verd & le violet.

Le rouge occupoit, autant que j'en ai pu juger à la vue, la sixième partie du spectre; le verd à peu près le quart, & tout le reste étoit d'un violet très-vif.

La partie du rouge qui joignoit le verd avoit une foible teinte de jaune, & aux confins du verd on voyoit aussi une légère dégradation. Ce spectre n'avoit de scintillation qu'à l'extrêmité occupée par le violet, & cette scintillation peut assez bien se comparer à l'extrêmité de la flamme d'une bougie, excitée par le vent d'un chalumeau. Je pouvois, en avançant ou reculant le petit miroir, terminer alternativement le rouge, le verd & le violet, dans le sens du petit axe; mais quand le rouge paroissoit une ligne droite sans diamètre sensible, alors le verd, & sur-tout le violet, étoit un peu dilaté dans le sens du petit axe: cette aberration ne peut être attribuée qu'aux prismes, dont les surfaces, au lieu d'être planes, étoient un peu sphériques.

Si mon télescope avoit été garni d'un micromètre, j'aurois pris ces mesures avec beaucoup plus de précision.

A mesure que je dilatois ce spectre, en augmentant l'angle refringent de mes prismes, j'affoiblissois les couleurs, au point même de les faire disparoître successive-

ment. Lorſque cet angle étoit de vingt à vingt-cinq degrés, le violet me paroiſſoit abſolument éteint, & les couleurs du ſpectre ſe changeoient en un rouge pâle tirant ſur le jaune, & un bleu très-clair. Sous un angle de quarante à cinquante degrés, le bleu me parut abſolument éteint, & il ne reſta plus qu'un trait de lumière ſans aucune teinte ſenſible de rouge. Ce trait de lumière, qui reſſembloit aſſez pour la couleur & pour la forme à une paille extrêmement mince, occupoit un eſpace plus grand que le champ du téleſcope, & n'avoit aucune largeur ſenſible. J'examinai de la même manière Rigel, j'y remarquai les mêmes phénomènes. Lorſque l'angle refringent des priſmes étoit de 14 d., alors les couleurs étoient moins vives; le rouge étoit plus pâle, le verd tiroit un peu plus ſur le bleu, & le violet étoit plus foible; le ſpectre n'occupoit plus, comme celui de Syrius, tout le champ du téleſcope; &, autant que j'en ai pu juger à la vue, il s'en manquoit près d'un quart.

Les couleurs diſparoiſſoient auſſi ſous un angle réfringent moins grand.

Dans une étoile de la ſeconde grandeur (ι d'*Orion*), les couleurs étoient plus foibles & le ſpectre moins grand:

dans une étoile de la troisième grandeur (η de l'épée d'Orion), la teinte de rouge ne devenoit sensible que lorsque l'angle réfringent des prismes étoit de trois à quatre degrés : enfin, dans les étoiles de la cinquième & sixième grandeur, je ne discernois absolument qu'une seule teinte de couleur fond paille, même avec des angles réfringens les plus petits. Il est essentiel de remarquer que les étoiles de la sixième grandeur n'occupoient pas le quart du champ du télescope, lorsque l'angle réfringent des prismes n'étoit que de 14 d. : il m'a aussi paru que la grandeur du spectre étoit, dans tous les cas, en raison de l'éclat de l'étoile. De toutes ces expériences n'est-on pas en droit de conclure, 1°. que la lumière des étoiles est composée d'une infinité de rayons différemment réfrangibles, & qu'il est impossible d'obtenir des rayons parfaitement homogènes dans le sens de la dilatation de la lumière ?

2°. Que les couleurs produites par la décomposition des rayons de lumière, ne sont pas tellement immuables, qu'elles ne puissent être non-seulement affoiblies ou éteintes, mais encore absolument changées.

Toutes les expériences que j'ai rappor-

tées, prouvent inconteſtablement que la lumière des étoiles eſt compoſée d'une infinité de rayons différemment réfrangibles; car, ſans cela, le ſpectre qu'elles forment ne ſeroit pas une ligne contiguë ſans largeur ſenſible, & on devroit parvenir, par la dilatation, à diſtinguer les interruptions, d'autant plus aiſément que l'étoile n'a pas de diamètre ſenſible. » M. l'Abbé » Nollet dit, d'après Newton, qu'une » couleur ſimple, dès qu'elle eſt ſéparée » des autres eſpèces, ne ſe décompoſe » plus, quoiqu'on les réfracte encore plu- » ſieurs fois. C'eſt pourquoi, ajoute-t-il, » la petite image ronde qui vient d'un » ſeul priſme, garde conſtamment ſa cou- » leur uniforme & ſa figure, quoiqu'on » la regarde avec le priſme : car tous les » rayons de lumière qui la rapportent à » l'œil, étant d'une égale réfrangibilité, » ſe rompent dans le verre ſans changer » de poſition entr'eux; & comme ils ſont » auſſi tous de la même couleur, l'image » qu'ils peignent au fond de l'œil doit être » de la même nuance dans toute ſon éten- » due. Par des raiſons contraires, l'image » formée de deux couleurs mêlées enſem- » ble doit devenir ovale, & l'une des deux » couleurs doit déborder, comme on voit

» que cela arrive en effet. On a donc rai-
» ſon de regarder comme couleurs ſimples
» & primitives, l'oranger, le verd & l'in-
» digo, qui ſe remarquent dans l'image
» colorée produite par le priſme, puiſque
» ces trois couleurs ne ſe décompoſent pas,
» & que ces eſpèces de lumière ont des
» degrés de réfrangibilité qui les diſtin-
» guent conſtamment des autres «. *Leçon de Phyſique, tome 5, page* 388.

M. l'Abbé Nollet ajoute dans un autre endroit, page 379 : » Le rayon *homogène*
» qui a paſſé par le priſme, ne fait point
» ſur le carton blanc une image oblongue
» & de diverſes couleurs comme dans la
» première expérience, parce que toutes
» ſes parties étant également réfrangibles,
» conſervent, en ſortant du priſme, le
» parallèliſme qu'elles doivent avoir en-
» tr'elles avant que d'y entrer; & comme
» les parties de la lumière qui ont le même
» degré de réfrangibilité ſont auſſi de la
» même couleur, l'image du rayon ré-
» fracté dans cette expérience, ne peut
» avoir qu'une ſeule teinte.

» Il faut pourtant convenir que, ſi l'on
» ne fait pas cette épreuve avec bien de
» la précaution, l'image en queſtion eſt
» un peu alongée, & qu'on remarque à

» ſes extrêmités quelque petite frange de
» couleurs différentes de celles du rayon :
» c'eſt ce qui a fait que M. Mariotte & plu-
» ſieurs autres perſonnes ſe ſont inſcrits
» en faux contre l'expérience de Newton.
» Mais un Phyſicien de bonne foi mettra
» le fait hors de conteſtation, s'il eſſaye
» de le vérifier dans une chambre parfai-
» tement obſcure avec un priſme dont
» le verre ſoit ſans bouillons & ſans filan-
» dres, & dont les côtés ſoient bien droits
» & bien polis, prenant de plus tout le
» ſoin poſſible de ſe procurer un rayon
» d'une lumière homogène & ſans mê-
» lange «.

D'après les expériences que j'ai rapportées, je ne puis être de l'opinion de M. l'Abbé Nollet, & je penſe que dans cette expérience plus on mettra de préciſion, & moins on trouvera le réſultat de Newton précis. L'image ronde de couleur oranger eſt ſans doute moins inégalement dilatée par le ſecond priſme, qu'une pareille image ronde de couleur oranger formée par le mêlange du jaune & du rouge, parce que le rapport de réfrangibilité entre le jaune & le rouge eſt plus grand qu'entre des rayons orangers de la même teinte : rien de plus ſimple & de

moins concluant. Je dis plus : ces couleurs ne ſont pas tellement immuables, comme le prétend Newton, page 136 de ſon Traité d'Optique, qu'on ne puiſſe par la dilatation non-ſeulement les affoiblir, mais encore les changer, puiſque, me ſervant d'un priſme de flintglaſſ de 45 d. adapté au téleſcope, la partie rouge du ſpectre de Syrius perdit totalement ſa couleur rouge, & devint d'une teinte ſenſiblement égale & fond paille.

Il ne ſeroit peut-être pas impoſſible, par la comparaiſon de la longueur des ſpectres des différentes étoiles produites par le même priſme, de ſe former une idée de leur éloignement reſpectif ou même abſolu; mais cette recherche exige d'abord qu'on trouve la loi qui a lieu entre la grandeur ou l'éclat d'un aſtre & l'étendue du ſpectre. Je m'explique : qu'on examine, par exemple, Jupiter & ſes Satellites par le moyen d'un téleſcope d'un pouvoir amplifiant, très-grand, armé de priſmes, on choiſira le Satellite qui eſt à-peu-près à la même diſtance de nous que Jupiter; on trouvera la longueur de ſon ſpectre qu'on comparera à celui de Jupiter, après avoir eu égard à la petite différence réſultante de leur dia-

mètre reſpectif. Si on ne trouve pas de différence entre la longueur de leur ſpectre, on en conclura, avec quelque vraiſemblance, que l'éloignement reſpectif entre Syrius & une étoile de la ſixième grandeur, eſt une des cauſes qui influe le plus ſur l'inégalité apparente de leurs ſpectres reſpectifs. Ou, ſi on trouve une différence entre les ſpectres des Satellites & de Jupiter, on eſſayera d'en chercher la loi, en les comparant aux ſpectres des Planètes que nous connoiſſons ; & cette loi une fois bien connue s'appliquera, avec un égal ſuccès, à la recherche que nous nous propoſons. Au reſte, je ſuis ſi éloigné de penſer que je puiſſe ſeul parvenir à faire toutes les expériences que ce nouvel objet de recherches paroît préſenter, que je crois ne pouvoir mieux contribuer aux progrès des connoiſſances de ce genre, qu'en mettant les Phyſiciens à portée de faire non-ſeulement ſur la nature de la lumière des étoiles, mais encore ſur celle du ſoleil, des expériences abſolument neuves, & par cela même infiniment intéreſſantes.

Les recherches dont je viens de rendre compte ont donné lieu aux queſtions ſuivantes. 1°. *Newton a-t-il dit que la lumière*

étoit composée d'une infinité de rayons différemment réfrangibles ? Ou, a-t-il limité leurs différentes réfrangibilités à sept espèces de rayons ?

2°. *Dans quel sens doit-on admettre la distinction que Newton a faite entre les rayons homogènes & hétérogènes ?*

3°. *Newton a-t-il avancé qu'il n'y avoit que sept couleurs primitives ; savoir, le rouge, l'oranger, le jaune, le verd, le bleu, l'indigo & le violet ?*

4°. *Enfin, les couleurs que Newton appelle homogènes sont-elles indécomposables ? Et Newton a-t-il pu affirmer qu'une couleur primitive avoit toujours une réfraction relative à sa nature, & étoit inaltérable à un tel point qu'il a pu dire :*

Nec variat lux fracta colorem ?

Telles sont les questions sur lesquelles je vais proposer mes doutes. Loin de prétendre à l'honneur d'avoir trouvé le grand Newton en défaut, je prie le Lecteur de vouloir bien considérer que la différence entre les résultats de cet illustre Géomètre & les miens, tient uniquement à la différence des méthodes qui nous ont servi à faire l'analyse de la lumière.

Ainsi le télescope armé de prismes, que

j'ai employé à la décompofition de la lumière d'une étoile qui, comme on fait, n'a pas de diamètre fenfible, ne peut avoir, aux yeux des Phyficiens, d'autre mérite que celui d'un degré de précifion, auquel les méthodes employées par Newton fe refufent.

10. *Newton a-t-il dit que la lumière étoit compofée d'une infinité de rayons différemment réfrangibles ? Ou, a-t-il limité leurs différentes réfrangibilités à fept efpèces de rayons ?*

Les expériences que j'ai rapportées prouvent inconteftablement que la lumière eft compofée d'une infinité de rayons différemment réfrangibles, puifque le fpectre d'une étoile paroît au télefcope, armé de prifmes, une ligne continue fans largeur fenfible.

L'interruption dans les parties du fpectre feroit une fuite néceffaire d'une réfrangibilité, déterminée pour fept efpèces de rayons. On n'a pas à craindre, dans cette expérience, l'anticipation des cercles occafionnés par le diamètre de l'étoile, puifqu'elle n'en a pas de fenfible dans les télefcopes, dont les pouvoirs amplifians font les plus grands.

La queftion fe réduit donc à favoir l'o-

pinion de Newton ſur ce ſujet, parce qu'ayant fait ſes expériences ſur le Soleil, il n'a pu obtenir un réſultat auſſi précis, quelque précaution qu'il ait pu prendre.

Newton s'eſt énoncé de la manière ſuivante (*a*):

La lumière du Soleil eſt compoſée de rayons différemment réfrangibles.

Il me ſemble que cet énoncé n'eſt pas aſſez précis, & je penſe que l'idée exacte de l'analyſe de la lumière exige qu'on repréſente le ſpectre ſuſceptible de s'étendre d'une manière indéfinie, par des réfractions qu'on eſt toujours maître de multiplier, ſans qu'il puiſſe éprouver d'interruption. Ainſi, quoique Newton n'ait pas réduit la lumière à ſept eſpèces de rayons différemment réfrangibles, la manière dont il s'exprime à cet égard n'étant pas dans la rigueur mathématique, quelques Phyſiciens ont cru que le ſpectre n'étoit compoſé que de ſept eſpèces de rayons différemment réfrangibles; & les couleurs priſmatiques qu'il a réduites à ſept dénominations principales, n'ont pas peu contribué à laiſſer ſubſiſter aſſez généralement cette impreſſion.

(*a*) Optique de Newton, page 36.

20. *Peut-on admettre la diſtinction que Newton a faite entre les rayons homogènes & hétérogènes ?*

Newton, pour parvenir à obtenir de la lumière homogène, dit (page 68 & ſuivantes) : » Les rayons hétérogènes ſont en » quelque ſorte ſéparés les uns des autres » par la réfraction du priſme, la pénombre des côtés rectilignes de l'image colorée ; cette ſéparation devient parfaite » dans ces mêmes côtés rectilignes de l'image. Il eſt vrai que la lumière devient » aſſez compoſée ſur ces cercles innombrables qui ſont décrits dans les eſpaces » renfermés entre ces côtés rectilignes, » & qui ſont illuminés chacun en particulier de rayons homogènes; ce qui arrive » par l'anticipation de ces cercles les uns » ſur les autres, & par leur mêlange dans » tous les eſpaces qui ſe rencontrent entre ces côtés rectilignes, les cercles innombrables *(décrits dans la cinquième » expérience)*, leſquels ſont illuminés » chacun en particulier de rayons homogènes, rendent la lumière aſſez compoſée en rentrant l'un dans l'autre & ſe » mêlant par-tout enſemble. Mais ſi l'on » pouvoit diminuer *(dans le ſpectre ſolaire)* les diamètres de ces cercles, leur

» centre conſervant leur diſtance & leur
» poſition, ils anticiperoient moins les uns
» ſur les autres, & par conſéquent le mê-
» lange des rayons hétérogènes diminue-
» roit à proportion «. Plus loin il ajoute :
» Si donc on veut diminuer le mêlange
» des rayons, il faut diminuer les diamè-
» tres des cercles ; & c'eſt ce qu'on fera
» ſi l'on peut rendre le diamètre du Soleil,
» auquel ces diamètres répondent, plus
» petit qu'il n'eſt, ou, ce qui revient à la
» même choſe, ſi hors de la chambre, à
» une grande diſtance du priſme, on place
» vers le Soleil un corps opaque percé d'un
» trou rond, afin d'intercepter toute la
» lumière du Soleil, excepté ce qui, venant
» du milieu du corps du Soleil, peut paſſer
» au priſme par ce trou. . . .
» . . . .
» Donc, en diminuant ce trou, on peut
» diminuer ces cercles à volonté, tandis
» que leurs centres reſtent aux mêmes
» endroits. Par ce moyen, il m'eſt arrivé
» de rendre la largeur de l'image qua-
» rante & quelquefois ſoixante à ſoi-
» xante-dix fois moindre que ſa longueur.
» . . . .
» . . . .
» Or, une lumière qui eſt ſimple & ho-

» mogène jufqu'à ce point-là, l'eft affez
» pour faire fur la lumière fimple toutes
» les expériences qui font contenues dans
» ce Livre «.

S'il étoit poffible d'obtenir de la lumière homogène, ce feroit, fans doute, le fpectre d'une étoile qui la donneroit, puifqu'elle n'a aucun diamètre fenfible. Mais puifque le fpectre eft toujours de plus en plus fufceptible de dilatation, cette extenfibilité de la lumière d'une manière indéfinie, bien conftatée, n'exclut-elle pas ce que Newton entend par homogénéité ?

Si on regarde un fpectre qui n'eft formé, autant qu'il eft poffible, que par les rayons du centre du Soleil, par un prifme dont l'axe fait un angle droit avec celui qui a donné le fpectre, Newton dit que ce fpectre ne paroît pas dilaté dans le fens de fa largeur. Mais le moyen employé par Newton n'eft-il pas infuffifant pour rendre ce phénomène fenfible ? Plufieurs expériences prouvent même que cette extenfion a lieu, mais qu'elle eft d'autant plus fenfible que le fpectre qu'on regarde eft plus refferré. En effet, la lumière étant de plus en plus dilatable, les rayons qui diffèrent fenfiblement en

réfrangibilité ſont d'autant plus rapprochés que le ſpectre eſt plus petit ; d'où l'on voit que le phénomène en queſtion doit être d'autant moins ſenſible que le ſpectre a plus d'étendue. Ainſi, pour que le ſpectre ne puiſſe plus s'élargir, il faudroit lui avoir donné toute l'extenſibilité dont il eſt ſuſceptible ; ce qui paroît contraire à la nature de la lumière.

Nous croyons donc que la diſtinction des rayons homogènes & hétérogènes n'eſt pas admiſſible.

3°. *Newton a-t-il avancé qu'il n'y avoit que ſept couleurs primitives ?*

C'eſt une queſtion ſur laquelle il me paroît très-difficile de prononcer. Preſque tous les Phyſiciens ont cru que le ſpectre ſolaire étoit compoſé de ſept couleurs primitives ; ils ont regardé les couleurs intermédiaires comme des nuances occaſionnées par le diamètre du Soleil : de-là même cette diſcuſſion ſur le nombre des couleurs primitives, qui a long-temps occupé des Savans d'un mérite diſtingué, parmi leſquels on trouve M. Dufay. Cet Académicien, au lieu de les réduire à cinq, comme quelques Phyſiciens célèbres de ſon temps, n'admettoit que le rouge, le jaune & le bleu, regardant les autres couleurs comme des

des mêlanges de ces trois couleurs, ou plutôt comme des nuances intermédiaires.

M. d'Alembert parle de cette discussion dans ses opuscules mathématiques, & dit (*a*) : » Il est donc évident que, si entre » les rayons rouges & les rayons orangers, » par exemple, il n'y avoit pas plusieurs » nuances de couleurs intermédiaires, un » rayon blanc pourroit, au sortir d'un verre » plan, se diviser en sept faisceaux de » rayons très-distincts & séparés par des » ombres; sur-tout, si l'épaisseur du verre » n'étoit pas fort petite, & si l'angle *d'in-* » *cidence* étoit un peu grand.

» Ne doit-on pas conclure delà que la » lumière, bien loin d'être formée, comme » l'ont prétendu quelques Physiciens, de » trois couleurs seulement, est réellement » composée non-seulement de sept cou- » leurs primitives, mais d'un nombre pres- » que infini de couleurs différentes qui » s'étendent, comme par degrés insensi- » bles, du rouge le plus clair au violet le » plus foncé.

» On prouvera de la même manière, » (quoique par un calcul un peu plus » compliqué,) que dans la même hypo-

(*a*) Tome 3, page 393.

» thèse le ſpectre ſolaire, au ſortir du » priſme, devroit être composé de bandes » colorées, ſéparées par des ombres : il y » auroit ſeulement cette différence, que » la largeur des ombres iroit toujours en » augmentant, à meſure qu'on s'éloignera » du priſme ; au lieu que les bandes colo- » rées ſeroient toujours à-peu-près de la » même largeur. «

Il eſt donc inconteſtable que pluſieurs Phyſiciens ont penſé que la lumière ſe décompoſoit, par le moyen du priſme, en ſept couleurs primitives ; ils regardoient les couleurs intermédiaires comme des nuances occaſionnées par le diamètre du ſoleil : mais ces ſept couleurs paſſoient généralement pour être inaltérables, & conſerver, dans tous les cas, un degré de réfringence relatif à leur nature, & abſolument invariable. Ceux qui n'admettoient que cinq couleurs, citoient, en faveur de leur opinion, les mêlanges du jaune & du rouge, du bleu &du jaune, qui donnent l'oranger & le verd. A cela on leur répondoit que ces couleurs factices ſe décompoſoient au travers du priſme, au lieu que l'oranger & le verd du ſpectre ſolaire étoient indécompoſables ; & on citoit à ce ſujet la cinquième propoſition de Newton.

» Ayant fait, dit Newton (*a*), au mi-
» lieu d'un morceau de papier noir, un
» trou rond d'environ la cinquième ou la
» ſixième partie d'un pouce en diamètre,
» je fis tomber, ſur ce papier, l'image de
» lumière homogène, en telle ſorte que
» quelque partie de la lumière pût paſſer
» par le trou du papier. Cette partie de lu-
» mière une fois tranſmiſe, je la rompis
» avec un priſme placé derrière le papier;
» &, laiſſant tomber perpendiculairement
» cette lumière rompue ſur un papier
» blanc, à deux ou trois pieds de diſtance
» du priſme, je trouvai que l'image que
» cette lumière avoit tracée ſur le papier
» blanc, n'étoit pas oblongue comme par
» la réfraction de la lumière compoſée du
» ſoleil, mais qu'elle étoit (autant que j'en
» pouvois juger à l'œil) parfaitement cir-
» culaire, la longueur de l'image n'étant
» pas plus grande que ſa largeur : ce qui
» fait voir que cette lumière eſt rompue ré-
» gulièrement ſans aucune dilatation des
» rayons. Je plaçai au devant de la lumière
» homogène un papier circulaire d'un
» quart de pouce de diamètre, & je mis
» un autre papier circulaire de la même

(*a*) Optique, page 79.

» grandeur au devant d'un trait de lumière
» solaire non rompu, blanc & hétéro-
» gène ; après quoi, m'éloignant de ces
» papiers à quelques pieds de distance, je
» regardai les deux cercles au travers d'un
» prisme. Le cercle, illuminé par la lu-
» mière hétérogène du soleil, parut fort
» oblong, sa longueur étant plusieurs fois
» plus grande que sa largeur; mais l'autre
» cercle, illuminé par une lumière homo-
» gène, parut circulaire, & terminé dis-
» tinctement comme lorsqu'on le regardoit
» simplement à l'œil : ce qui prouve la pro-
» position entière ; c'est-à-dire, *que la lu-
» mière homogène est rompue régulièrement,
» sans que les rayons soient dilatés, fen-
» dus ou dispersés ; & que la vision confuse
» des objets, vus à travers les corps réfrin-
» gens par une lumière hétérogène, vient
» de la différente réfrangibilité des diffé-
» rentes espèces de rayons.* «

Nous croyons devoir remarquer à ce sujet que le résultat de cette expérience est fort différent par le télescope, armé de prisme : on voit, dans tous les cas, l'image devenir oblongue, ce qui est une suite nécessaire de l'extensibilité illimitée de la lumière ; ainsi l'oranger ou le verd du spectre ne se dilate moins par le prisme

que l'oranger ou le verd factice, que parce qu'il n'eſt pas composé, comme ces derniers, de rayons qui diffèrent autant en réfrangibilité : il n'eſt peut-être pas impoſſible de compoſer ces couleurs de manière qu'elles ne ſe dilatent pas davantage que les couleurs du ſpectre, en ſe ſervant de priſmes de différentes matières, comme nous l'expliquerons plus loin. Quoi qu'il en ſoit, le téleſcope, armé de priſme, prouve d'une manière inconteſtable que la lumière eſt ſuſceptible d'une extenſibilité illimitée.

Les couleurs priſmatiques, produites dans le ſpectre par cette extenſibilité de la lumière, nous conduiſent, par degrés inſenſibles, du rouge au violet ; & nous penſons que rien n'eſt plus arbitraire que de réduire les couleurs priſmatiques à trois, cinq, ſept, ou un plus grand nombre de dénominations principales.

Cette aſſertion qui me paroît différer de l'opinion adoptée par la plupart des Phyſiciens, d'après la théorie de Newton, eſt encore confirmée par l'obſervation de M. d'Alembert, à laquelle il me ſemble difficile de répondre dans toute autre ſuppoſition.

4o. *Les couleurs que Newton appelle*

homogènes ſont-elles indécompoſables, & Newton a-t-il pu affirmer qu'une couleur primitive avoit toujours une réfraction relative à ſa nature, & étoit inaltérable à un tel point qu'il a pu dire :

Nec variat lux fracta colorem ?

Je me vois toujours forcé de revenir à l'extenſibilité de la lumière d'une manière illimitée ; &, cette propriété une fois bien prouvée, je ne puis voir ni rayons ſimples, ni couleurs inaltérables. En effet, lorſque je regarde une étoile avec le téleſcope armé d'un priſme, je vois un ſpectre, ou plutôt une ligne colorée. Les différentes couleurs qui la compoſent ne laiſſent appercevoir aucune interruption, parce qu'elles ſuivent une dégradation imperceptible : on ne peut étendre cette ligne ſans altérer les couleurs ; auſſi l'oranger devient-il plus jaune, & le jaune plus pâle ou plus blanc. L'extenſibilité indéfinie une fois admiſe, ces altérations en ſont une conſéquence naturelle, & on peut la pouſſer à tel point que cette lumière ceſſe de faire impreſſion ſur l'organe ; c'eſt ce qui arrive dans l'expérience que j'ai rapportée : le ſpectre de Syrius, lorſqu'il n'avoit qu'une certaine étendue, m'a donné trois

couleurs très-remarquables, le rouge, le jaune & le violet; mais, à force de l'étendre, je suis parvenu à lui faire perdre toute couleur : ce n'est pas que le rouge soit devenu blanc, je pense au contraire que les couleurs extrêmes se sont successivement dissipées, mais à la fin il n'est resté que la partie jaune du spectre, qui est celle qui a le plus de force, & qui m'a donné la seule impression de lumière sans couleur. Les étoiles de la quatrième & cinquième grandeur donnent également un spectre assez étendu sans couleur sensible.

Telle est maintenant mon opinion sur les expériences dont j'ai rendu compte à l'Académie le 13 Mars 1776.

Il se présente encore à ce sujet une autre question très-intéressante : existe-t-il une réfraction constante pour chaque espèce de couleurs ? Newton l'a pensé, & il dit expressément dans son Optique :

» Toute lumière homogène a sa couleur » propre qui répond à ses degrés de réfran» gibilité, & cette couleur ne peut être » changée ni par réflexion, ni par réfrac» tion.

» Dans les expériences rapportées *(dans » la quatrième proposition)*, après que j'eus » séparé les rayons hétérogènes les uns des

» autres, le ſpectre formé par les rayons » ſéparés, en avançant depuis ſon extrê- » mité ſur laquelle tomboient les rayons » les plus réfrangibles, juſqu'à ſon autre » extrêmité ſur laquelle tomboient les » moins réfrangibles, parut illuminé des » couleurs ſuivantes, dans l'ordre que je » vais les nommer, le violet, l'indigo, le » bleu, le verd, le jaune, l'oranger, le » rouge, avec tous leurs degrés intermé- » diats, dans une continuelle ſucceſſion » qui varioit perpétuellement, de ſorte » qu'on voyoit autant de degrés de cou- » leurs qu'il y avoit d'eſpèces de rayons de » différentes réfrangibilités : or, que ces » couleurs ne puſſent point être changées » par réfraction, c'eſt de quoi je m'aſſurai » en rompant, avec un priſme, tantôt » une très-petite partie de cette lumière, » & tantôt une autre très-petite partie ; » car, par cette réfraction, la couleur de » la lumière ne fut jamais changée le » moins du monde. Si quelque partie de la » lumière rouge étoit rompue, elle demeu- » roit entièrement du même rouge qu'au- » paravant ; cette réfraction ne produiſoit » ni oranger, ni jaune, ni verd, ni bleu, » ni aucune autre nouvelle couleur. Les » réfractions répétées ne produiſoient au-

» cun changement dans la couleur, c'étoit
» toujours entièrement le même rouge que
» la première fois : je trouvai la même im-
» mutabilité dans le bleu, le jaune & les
» autres couleurs ; de même, lorsque je
» regardois au travers d'un prisme quelque
» corps illuminé, de quelque partie que
» ce fût, de cette lumière homogène, il
» ne me fut pas possible d'appercevoir au-
» cune nouvelle couleur.

» Tous corps qui, étant illuminés d'une
» lumière hétérogène, étoient regardés
» au travers d'un prisme, paroissoient con-
» fus ; mais ceux qui sont illuminés d'une
» lumière homogène, ne paroissoient, au
» travers des prismes, ni moins distincts,
» ni autrement colorés, que lorsqu'on les
» regardoit simplement avec l'œil : leurs
» couleurs n'étoient nullement changées
» par la réfraction du prisme interposé. Je
» parle ici d'un changement sensible de
» couleur : car la lumière que je nomme
» ici homogène, n'étant pas homogène
» absolument & à toute rigueur, son hé-
» térogénéité doit produire un petit chan-
» gement de couleur ; mais lorsque cette
» hétérogénéité diminuoit, ce change-
» ment de couleur étoit insensible, & par
» conséquent, dans des expériences où les

» ſens ſont juges, il doit être compté » pour rien. «

Eſt-il donc bien certain que chaque couleur ait un degré invariable de réfraction ? Mes doutes ſur cette aſſertion ſont fondés ſur la diſperſion plus ou moins forte qu'on a obſervée, dans ces derniers temps, dans différens milieux, & qui n'eſt pas proportionnée à leur réfraction moyenne. En effet, les couleurs produites par des priſmes de verre de France, ont beaucoup moins d'étendue que celles produites, à même réfraction moyenne, par des priſmes de verre de plomb, tels que le ſtraſſ, ou le flintglaſſ. Ainſi lorſque dans les deux ſpectres ſolaires, formés par des priſmes de verre ordinaire & de flintglaſſ, la couleur verte eſt à la même hauteur, condition qu'il eſt toujours facile de remplir par des priſmes à angles variables, tels que nous en avons donné la deſcription ; il eſt palpable que le rouge du ſpectre, formé par le priſme de verre, ne répondra pas au rouge du ſpectre produit par le priſme de flintglaſſ, puiſque ces deux ſpectres ſe trouvent de longueur très-inégale, quoiqu'ils aient la même réfraction moyenne. Si donc le rouge de l'un répond au jaune de l'autre, ces deux couleurs

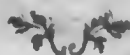
très-différentes ſemblent avoir, en ce cas, le même degré de réfraction : ainſi ces couleurs mêlées enſemble donneroient l'oranger, qui ne paroît pas devoir être auſſi aiſément décompoſé en rouge & en jaune, que celui dont Newton parle. Sans nous arrêter plus long-temps ſur ce ſujet, les obſervations que nous venons d'expoſer ne nous menent-elles pas à conclure, que les couleurs n'ont pas cette immutabilité & cette réfraction conſtante qui leur eſt attribuée par Newton ?

Nos obſervations ſur l'analyſe de la lumière, ne nous empêchent pas de réduire les couleurs du ſpectre ſolaire à ſept dénominations principales.

Cette réduction nous paroît même préférable à toute autre ; car, quoique les couleurs du ſpectre ſoient tellement liées entr'elles qu'elles paſſent par degrés inſenſibles du rouge au violet, l'œil n'en diſtingue pas moins ſept ordres de couleurs qui donnent des ſenſations différentes, mais dont les limites ne peuvent être aſſignées à cauſe de la dégradation imperceptible qui conduit *du rouge à l'oranger, de l'oranger au jaune, du jaune au verd, du verd au bleu, du bleu à l'indigo, & de l'indigo au violet.*

La différence qui ſe trouve entre le rouge foncé qui termine l'extrêmité du ſpectre, & le rouge beaucoup moins foncé, qui touche aux confins de l'oranger, eſt, ſans doute, plus forte qu'entre ce rouge moins foncé & l'oranger qui ſe trouve ſur ſes confins; mais le rouge du ſpectre renfermant généralement toutes les différentes nuances de cette couleur, les ſept dénominations auxquelles Newton les a réduites, préſentent l'idée la plus ſimple & la plus commode de l'analyſe de la lumière.

Ce grand Géomètre s'eſt encore ſervi du rapport qui a lieu entre la longueur & la largeur du ſpectre ſolaire, pour aſſigner à chaque couleur le degré de réfraction qui lui a paru indépendant de la nature des milieux. Mais avant de nous occuper de cette détermination, il nous ſera utile de faire ſentir combien il importe au progrès de l'optique de fixer, avec exactitude, le degré de réfrangibilité, ou, ce qui eſt de même, la force diſperſive des différens milieux qui ſervent à la conſtruction des principaux inſtrumens d'optique.



Des Verres dont les ſurfaces ſont ſphériques.

Le degré de régularité qu'il eſt néceſſaire de donner aux verres, pour qu'ils puiſſent produire un bon effet dans les principaux inſtrumens d'optique, exige que leurs ſurfaces ſoient, ou planes, ou ſphériques.

Toute autre forme eſt tellement proſcrite aux yeux de ceux qui ſont verſés dans l'art de tailler les verres ou les miroirs, que nous ne croyons pas même devoir nous arrêter à combattre l'aſſertion de quelques Artiſtes célèbres, qui ont prétendu pouvoir donner à leur miroir la forme parabolique.

Nous avons remarqué qu'on pouvoit conſidérer un verre taillé ſphériquement, comme un aſſemblage de petits priſmes de différens angles, qui diminuent progreſſivement des bords au centre du verre. La ſomme, ou la différence des arcs compris depuis le centre, juſqu'au point où on ſuppoſe un de ces petits priſmes, en donne l'angle; ainſi, dans un verre d'une ſphéricité connue, chaque angle eſt déterminé par le ſomme des arcs, quand les deux ſurfaces ſont convexes ou concaves, &

par la différence des arcs, lorſqu'une ſurface eſt convexe, tandis que l'autre eſt concave, & par conſéquent la réfraction qui en réſulte pour un milieu, dont le pouvoir réfringent eſt connu.

On verra donc facilement que la réfraction fait coincider tous les rayons parallèles qui tombent ſur la ſurface d'un verre, également convexe des deux côtés (vulgairement nommés *loupe* ou *lentille*) dans un eſpace fort petit, aſſez près du centre de ſphéricité de cette lentille. Cette réunion, connue ſous le nom de *foyer*, ſeroit bien plus parfaite, ſans la différente réfrangibilité des rayons de lumière. La figure ſphérique s'oppoſe auſſi à une parfaite réunion ; mais beaucoup moins.

Les Opticiens déſignent ces deux imperfections par *aberration* de réfrangibilité & de ſphéricité. M. Euler eſt le premier qui ait penſé à corriger les *aberrations* de réfrangibilité, en ſe ſervant de milieux différemment réfringens ; cependant, cette belle découverte n'eut pas dans le temps tout le ſuccès qu'il avoit lieu de s'en promettre, tant parce que ſa théorie étoit en partie fondée ſur des loix de réfraction purement hypothétique, que parce qu'elle étoit oppoſée à une propoſi-

tion de Newton, que nous avons déjà rapportée.

M. Klingentierna jeta, en 1755, des doutes ſur les loix de réfraction établies par Newton; &, en 1759, M. Dollond trouva dans une eſpèce de cryſtal, connu en Angleterre ſous le nom de *flintglaſſ*, une réfraction, qui lui fit ſentir la poſſibilité du projet de M. Euler. M. de Maupertuis avoit eſſayé de faire conſtruire des lentilles de verre & d'eau, ſelon les principes de M. Euler: ce fut ſans ſuccès. M. Dollond, s'étayant ſur ſes expériences, ne fut pas plus heureux: mais ayant composé ſes lentilles avec du *flintglaſſ* & du verre commun, il reconnut que le *flintglaſſ* étoit beaucoup plus propre que l'eau, à remplir l'objet qu'il s'étoit propoſé.

Il dit, dans ſon Mémoire imprimé dans les Tranſactions Philoſophiques, qu'il parvint facilement à détruire l'aberration de réfrangibilité.

Ainſi on vit, pour la première fois, des lentilles ſans couleur; ce qui leur fit donner le nom d'*achromatique*.

Il avoue qu'il fut arrêté par un obſtacle plus difficile à ſurmonter; c'eſt l'aberration de ſphéricité. Nous avons dit que la figure ſphérique ne réunit pas en un ſeul point les rayons de lumière: on connoît

les fameuſes ovales que Deſcartes avoit imaginées pour remédier à ce défaut. Il y avoit encore un autre moyen qui eſt dû à Newton, & qui eſt le ſeul praticable; c'eſt de donner aux ſphères, dont la lentille eſt composée, un arrangement & des dimenſions, telles que l'aberration ſoit la plus petite poſſible.

(*a*) » Soit ADFC, dit Newton, un objectif
» composé de deux verres ABED & CBEF,
» également convexes aux côtés extérieurs
» AGD & CHF, & également concaves
» aux côtés inférieurs BME & BNE, &
» ſoit la concavité BMENB remplie d'eau;
» ſoient les ſinus d'incidence & de ré-
» fraction du verre dans l'air comme I
» eſt à R, & de l'eau dans l'air comme K
» à R, & par conſéquent du verre dans
» l'eau comme I eſt à K, & ſoit D le
» diamètre de la ſphère ſur laquelle ſont
» travaillés les côtés convexes AGD &
» CHF, & que le diamètre de la ſphère
» ſur laquelle ſont travaillés les côtés
» concaves BME & BNE ſoit à D,
» comme la racine cubique de KK—KI
» eſt à la racine cubique de RK—RI:
» cela poſé, les réfractions qui ſe font ſur
» les côtés concaves des verres, corrige-

(*a*) Optique page 115.

» ront

» ront extrêmement les erreurs des ré-
» fractions qui se font sur les côtés con-
» vexes, en tant que ces erreurs procè-
» dent de la sphéricité de la figure «.

Rien de plus ingénieux que ce moyen de corriger l'aberration de sphéricité des lentilles. J'ai cru devoir le rapporter tout au long, parce que j'ai fait usage de l'eau pour diminuer les imperfections qui sont inséparables de la méthode employée pour donner aux surfaces des verres une figure sphérique.

Une lentille de même genre a fixé dans cer derniers temps l'attention du Public. Son effet qui surpasse de beaucoup celui des plus grands verres ardens, étonne bien moins que la difficulté de faire deux calottes de verre de quatre pieds de diamètre, propre à recevoir un fluide quelconque, & à donner à ce milieu la forme d'une loupe régulière. La Physique est redevable à feu M. Trudaine de cette lentille, dont l'exécution fait, à juste titre, honneur à M. de Bernieres, Contrôleur des Ponts & Chaussées.

Il ne s'agit dans les verres ardens que de concentrer la lumière directe du soleil, le plus qu'il est possible. Par conséquent, les effets de ces lentilles brûlantes doivent

ſuivre les quarrés de leur diamètre ; ainſi, l'effet de la lentille brûlante de M. Trudaine, qui a quatre pieds de diamètre, doit être à l'effet du verre ardent de Tchirſnauſen, qui n'a que trente-trois pouces de diamètre, comme 2304 eſt à 1089 ; c'eſt-à-dire, plus du double. Les aberrations de ſphéricité & de réfrangibilité, ainſi que les petites irrégularités inſéparables du travail d'auſſi grandes ſurfaces, même l'inégale grandeur de l'image du ſoleil, qui ſuit toujours le rapport des diſtances focales des lentilles, peuvent & doivent être en partie corrigées par une ſeconde loupe placée aſſez près du foyer. Sans cette précaution, que je crois indiſpenſable pour obtenir le degré de concentration néceſſaire aux grands effets des lentilles brûlantes, quelle que ſoit leur conſtruction, le verre ardent de Tchirſnauſen ne mettroit pas en fuſion une pièce de cuivre rouge. Il ſuit de-là que les lentilles brûlantes de verre ne peuvent avoir aucun avantage ſur celles à eſprit-de-vin : ces dernières ſont même préférables, vu la difficulté de ſe procurer un verre aſſez épais pour faire une lentille de quatre pieds de diamètre.

D'ailleurs, en introduiſant un fluide

diaphane entre les verres qui composent une lentille, ou diminue considérablement l'effet des imperfections des surfaces internes des verres.

Cette assertion se prouve de la manière suivante.

Je prends le vase prismatique à angle variable, destiné dans les expériences de la lumière à donner aux fluides la forme prismatique. Je l'adapte devant l'ouverture de mon télescope. Après avoir rempli ce vase d'eau ou d'esprit-de-vin, j'amène au parallélisme les deux verres plans : or, quand les objets vus à travers ce fluide n'éprouvent aucune réfraction sensible, le parallélisme est tel qu'on peut le désirer.

Il faut que les deux verres qui donnent au fluide le parallélisme soient bien plans, & leurs surfaces parallèles, afin que les objets ne soient point défigurés, en les regardant avec le télescope.

L'appareil ainsi disposé, prenez un verre dont les deux surfaces soient très-irrégulières, & placez-le dans le vase prismatique, rempli d'eau ou d'esprit-de-vin. Je dis que, si le fluide avoit la même réfraction que le verre, on ne s'appercevroit d'aucune altération dans la distinction de l'objet. Ainsi, c'est la seule différence de

réfraction, entre ce verre & le fluide dans lequel il eſt plongé, qui rend ſenſible ces défauts. L'on peut, ce me ſemble, établir cette proportion.

La confuſion qui réſulte d'un verre irrégulier, placé directement devant un téleſcope, eſt à la confuſion qui a lieu quand ce verre eſt plongé dans un fluide, comme la raréfraction du verre eſt à la différence de réfraction, entre le verre & le fluide; c'eſt-à-dire, comme 155, réfraction du verre commun, eſt à 22, qui eſt la différence entre la réfraction du verre ordinaire (155), & celle de l'eau (133); donc, la confuſion n'eſt plus qu'environ la ſeptième partie de celle qui auroit lieu, ſi on regardoit directement des objets à travers ce verre irrégulier. Ceci ſuppoſe un contact parfait entre le verre & le fluide dans lequel il eſt plongé; & on ſent combien de cauſes peuvent influer ſur ce contact. Par exemple, un verre éprouvé dans l'huile n'auroit peut-être pas un contact précis, ſi on l'éprouvoit enſuite dans l'eau. Au lieu de rapporter mes expériences ſur ce ſujet, le rapport des Commiſſaires de l'Académie, nommés pour les ſuivre, fera mieux ſentir l'utilité de cette recherche, que mes occupations ne m'ont permis de continuer.

EXTRAIT des Regiſtres de l'Académie.

Du 5 Février 1774.

M. l'Abbé de Rochon ayant lu, dans une de nos aſſemblées, un Mémoire ſur les moyens de perfectionner les lunettes achromatiques, par l'interpoſition d'un fluide entre les objectifs, l'Académie nomma MM. de Borda, le Gentil & moi, pour répéter différentes expériences curieuſes & intéreſſantes rapportées dans ce Mémoire. Nous allons en rendre compte; mais auparavant, il ſera bon de faire, en peu de mots, le précis du Mémoire de M. l'Abbé de Rochon.

Depuis l'invention des objectifs achromatiques, on eſt parvenu à conſtruire des lunettes de trois & trois pieds & demi, dont l'effet égale celui des meilleures lunettes ſimples de trente pieds. Quelque étonnant que ſoit cet effet, la théorie nous en promettroit un encore bien plus conſidérable, ſi la pratique plus tardive ne reſtoit bien loin derrière elle. Les Géomètres ont déterminé & calculé toutes les dimenſions propres aux objectifs achromatiques, pour qu'ils puiſſent faire le plus grand effet

poſſible. Mais, pour exécuter ces dimenſions, il reſte aux Artiſtes à perfectionner le travail des vérres, & ce qui eſt peut-être encore plus important, à trouver le moyen de rendre peu ſenſible le mauvais effet provenant du défaut de ſphéricité.

Si dans un objectif à trois verres il ſe trouve un millieme de ligne d'erreur; c'eſt-à-dire, s'il y a une différence d'un millieme de ligne entre la courbure du centre & celle des bords de chaque ſurface, il en réſulte une imperfection ſenſible dans la la viſion de l'object : or, ſi l'on ſonge que la ſeule chaleur de la main, lorſque l'on donne le dernier poli, eſt capable de dilater le verre que l'on travaille, pour peu qu'il ſoit mince, on peut juger combien il eſt difficile de ne pas commettre dans les grands verres quelques inégalités de courbure très-ſenſibles. Peut-être même eſt-il poſſible d'éviter cette imperfection: mais on peut y remédier; c'eſt du moins ce que M. l'Abbé de Rochon a tenté; on jugera ſi c'eſt avec ſuccès. Cet Académicien prétend, qu'en introduiſant un fluide diaphane entre les verres qui compoſent un objectif achromatique, on diminuera conſidérablement l'effet des imperfections des quatre ſurfaces internes des trois verres.

Des expériences répétées pouvoient seules prononcer sur ce fait : voici les nôtres. MM. de Bory, Dusejour & mon père, se sont joints à nous pour en être témoins.

Nous avons pris une lunette achromatique à deux verres, de trois pieds de longueur, & environ trois pouces d'ouverture. Les deux verres composant l'objectif, étant éloignés l'un de l'autre d'un intervalle d'environ six lignes, nous avons introduit un verre de Bohème, mince, & sans être travaillé. On sent parfaitement que la lunette dans cet état devoit être très-mauvaise; en effet, ayant placé en face un écriteau mobile, nous fûmes obligés d'approcher cet écriteau à la distance de cinq toises trois quarts, pour pouvoir en déchiffrer les caractères. Cela déterminé, laissant la lunette à la même place, nous fîmes couler entre les objectifs de l'eau pure, jusqu'à ce qu'elle remplît exactement les intervalles entre les objectifs. Pointant alors notre lunette sur l'écriteau, nous distinguâmes parfaitement ce qu'auparavant nous pouvions à peine déchiffrer, éloignant alors notre écriteau de plus en plus, du bout de la lunette : ce ne fut qu'à la distance de trente-une toises que les

caractères nous devinrent auſſi difficiles à lire, qu'ils l'avoient été auparavant à cinq toiſes trois quarts de diſtance.

Après avoir éprouvé l'eau, nous employâmes de l'huile ; & nous fûmes obligés de rapprocher l'écriteau à la diſtance de vingt-une toiſes & demie, pour pouvoir commencer à déchiffrer les caractères.

Nous aurions pu ainſi déterminer les effets de pluſieurs autres fluides, ſoit ſimples, ſoit compoſés : mais des circonſtances, & un départ précipité par les ordres du Miniſtre, ont empêché M. l'Abbé de Rochon de nous mettre à portée de faire toutes les expériences que l'on auroit pu imaginer : d'ailleurs, c'eſt un travail qui lui appartient particulièrement, & dont il eſt naturel qu'il rendre compte lui-même à l'Académie. Nous n'étions chargés que de vérifier le fait principalement avancé par M. de Rochon ; ſavoir, qu'un fluide interpoſé entre des objectifs, corrige en grande partie les défauts des ſurfaces des verres : nos expériences le prouvent inconteſtablement. Le réſultat a ſurpaſſé ce que M. de Rochon lui-même annonçoit & oſoit eſpérer : nous laiſſons à l'Auteur à faire les réflexions, & tirer

les conféquences que préfente un fait auffi intéreffant. Nous l'invitons fur-tout à faire les mêmes expériences fur les lunettes achromatiques, de l'efpèce de celle dont les Aftronomes font ufage depuis quelques années, & de vérifier fi l'interpofition des fluides aura un auffi heureux fuccès pour les objets céleftes, que pour les terreftres. Les Aftronomes ne peuvent que s'intéreffer infiniment aux travaux de M. l'Abbé de Rochon, qui ont pour objet la perfection d'un art, dont l'Aftronomie doit attendre fes progrès. A Paris, ce 5 Février 1774.

Signé, *le Chevalier* DE BORDA, LE GENTIL, CASSINI *fils*.

Je certifie le préfent Extrait conforme à l'original & au jugement de l'Académie. A Paris, ce 28 Mars 1778. Signé, *le Marquis* DE CONDORSET.

Mes expériences, fur cet objet important, ne font encore, ni affez nombreufes, ni affez variées, pour que je croye devoir m'y arrêter : j'obferve feulement, qu'en s'attachant à rendre immédiat le contact des fluides au verre, on peut parvenir à faire des lentilles excellentes; car, en les compofant de flintglaff & d'eau, on réunit le triple avantage de

corriger l'aberration de ſphéricité, celle de réfrangibilité, & les irrégularités des ſurfaces internes des verres. Nous verrons, à l'article des lentilles achromatiques, que le rapport de diſperſion étant plus grand entre le flintglaſſ & l'eau, qu'entre le verre & le flintglaſſ, les lentilles à eau ſont, à cet égard, préférables à celles de flintglaſſ & de verre commun. D'ailleurs, les lentilles achromatiques, compoſées de verres de différentes denſités, perdent, par les reflets qui ſe font à chacune de leur ſurface, beaucoup de lumière : ce défaut ne doit pas être auſſi ſenſible dans les lentilles compoſées de flintglaſſ & d'un fluide.

Les verres convexes ſervent à faire converger les rayons, & les verres concaves à les faire diverger; lorſqu'on regarde de fort près de petits objets, les rayons ſont trop divergens, pour que l'œil puiſſe leur donner le degré de convergence, néceſſaire à leur réunion ſur la rétine. On a donc beſoin d'un verre convexe, dont la ſphéricité doit être proportionnée au degré de divergence des rayons.

Les Opticiens nomment *loupe* ou *oculaire*, ou *enfin microſcope ſimple*, le verre deſtiné à cet uſage.

L'objet ne paroît plus grand par une loupe, que parce qu'on eſt forcé de le regarder de plus près qu'à la vue ſimple; car, ſi la viſion diſtincte à l'œil nud s'opère à un pied, le même œil armé d'une loupe d'un pouce de foyer ſera forcé de s'approcher de l'objet à un pouce, pour pouvoir le voir diſtinctement. Ainſi, l'objet étant dans ce cas douze fois plus près de l'œil, il paroîtra douze fois plus grand qu'à l'œil nud; c'eſt ce rapport que les Opticiens nomment pouvoir amplifiant d'une loupe, d'un oculaire, ou d'une lentille de microſcope.

Quand on préſente un verre convexe au ſoleil, les rayons réfractés tracent ſur un écran, placé au foyer, une image diſtincte de cet aſtre : la grandeur & l'éclat de l'image dépendent de la diſtance focale du verre, & de l'ouverture qu'on lui donne; cette ouverture dans les lentilles ſimples eſt limitée par les aberrations de réfrangibilité & de ſphéricité. Tel eſt auſſi le principe de la chambre obſcure, dont les effets ſont connus de tout le monde. Le miroir ne ſert qu'à diriger à volonté la lumière qui émane des objets, & à la faire tomber ſur la lentille qui donne à ſon foyer une peinture renverſée de tous

les objets vers lesquels elle est dirigée. Ce verre est alors désigné par le nom d'objectif; la foible illumination des objets terrestres force de placer l'écran & l'œil dans l'obscurité.

On peut encore regarder directement l'image formée par l'objectif : mais il faut que l'œil soit armé d'une loupe ou d'un oculaire : si on enferme dans un tuyau l'objectif & l'oculaire, on a la lunette astronomique.

Dans cette disposition, les objets paroissent renversés, & le pouvoir amplifiant est donné par la distance focale de l'objectif divisé par celle de l'oculaire.

Il est aussi très-facile de redresser les images en multipliant les verres, comme nous le verrons dans la suite.

Les verres convexes suppléent encore au peu de convexité de l'œil; &, en cela, ils sont utiles aux vieillards qui voient parfaitement les objets les plus éloignés, tandis qu'ils ne distinguent pas les objets près : les Opticiens les nomment, par cette raison, *presbites;* ils appelent aussi *miopes* ceux qui ne voient distinctement qu'à une très-petite distance : les verres concaves leur sont nécessaires pour bien discerner les objets éloignés.

DE LA VISION.

C'EST ici le lieu de rendre compte des recherches que j'ai faites très-anciennement sur les différens points fondamentaux de la théorie de la vision : lorsqu'on regarde des deux yeux un objet placé à la distance requise pour la vision parfaite, les rayons émanés de cet objet se rétractent en traversant les humeurs de l'œil, & tracent sur chacune des rétines une peinture exacte & semblable de cet objet.

Mais 1°. Comment, cette image étant renversée, l'objet paroît-il droit ?

2°. Pourquoi cette image est-elle répétée dans les deux yeux, sans pour cela que l'objet paroisse double ?

3°. Enfin, sur quel principe est fondé le jugement que nous portons sur la distance des objets ?

Comment voit-on les objets droits ?

Le célèbre Auteur du Traité des Sensations, prétend que nos yeux ont besoin d'apprendre à voir, & que c'est le toucher qui les instruit. Il ajoute que les sensations de lumière & de couleur ne sont que des modications de notre ame ; que puisqu'elle ne les éprouve qu'en elle ; elle

ne peut les appercevoir hors d'elle. L'extrêmité du rayon, dit M. l'Abbé de Condillac, qui frappe la rétine, produit une sensation : mais cette sensation ne se rapporte pas d'elle-même à l'autre extrêmité du rayon ; elle reste dans l'œil ; elle ne s'étend pas au delà, & l'œil est alors dans le même cas qu'une main qui, au premier moment qu'elle toucheroit, saisiroit le bout d'un bâton. Il est évident que cette main ne connoîtroit que le bout qu'elle tiendroit ; elle ne sauroit encore rien découvrir de plus dans la sensation.

Je ne puis être de l'avis de M. de Condillac, & je pense que le sens de la vue servant à nous faire connoître la forme, la position, & même la distance respective des objets dont nous sommes environnés, tout me porte à croire que nous les rapportons naturellement hors de nous : car, comment concevoir autrement qu'un tableau aussi petit que celui qui se peint sur la rétine, puisse donner une sensation aussi étendue, que celle que nous éprouvons à l'aspect des corps ? D'ailleurs, comment une peinture renversée pourroit-elle, dans ce cas, être destinée à nous donner l'idée d'une image droite, ou nous obliger à rectifier, par l'habitude perpétuelle & réfléchie du

toucher, l'erreur que le méchanisme de l'organe produiroit sur la position de l'objet ?

Mais, si nous prouvons que la direction, selon laquelle nous sommes forcés de juger les objets, est absolument indépendante du sens du toucher, nous ôtons à l'assertion de l'Auteur du Traité des Sensations, toute sa force.

M. d'Alembert a remarqué le premier, dans ses Opuscules Mathématiques, que le rayon qui frappe le fond de l'œil ne devoit pas affecter l'organe, selon sa propre direction ; mais que son action devoit s'exercer & s'estimer, conformément aux loix de la méchanique, c'est-à-dire, selon une direction perpendiculaire à la courbure, que le fond de l'œil forme en cet endroit : or, si la remarque de M. d'Alembert se trouve confirmée par l'expérience, comment pourra-t-on désormais concilier les leçons que les yeux reçoivent du toucher avec une loi, qui (*si l'on en excepte le cas particulier où l'axe optique ne souffre pas de réfraction*) nous fait rapporter les objets que nous regardons dans une direction différente de celle où ils sont réellement placés ? Ainsi, si, quelle que soit l'inclinaison des rayons sur un point quelconque de la rétine, l'impression qui en

résulte se rapporte toujours dans le sens de la perpendiculaire, il est évident que, pour qu'ils nous paroissent droits, il faut que leurs images soient peintes, renversées sur notre rétine. Par conséquent, si nous rapportons les objets hors de nous, il faut, pour que nous les voyions dans leur situation naturelle, que la peinture qui s'en trace au fond de l'œil soit renversée.

M. le Cat rapporte, dans son Traité des Sens, une expérience qu'il est nécessaire de discuter ici; parce que l'explication qu'il en donne tendroit à prouver que nous voyons naturellement les objets renversés.

» Placez une lumière à une distance
» médiocre d'un corps poli & très-con-
» vexe; de façon qu'il vous en revienne
» un petit point lumineux; (pour réussir
» plus sûrement, empêchez que la pre-
» mière lumière ne tombe sur vos yeux)
» fermez ensuite un œil, & regardez le
» point lumineux en rêvant, c'est-à-dire,
» l'œil relâché ou dilaté; ce point vous
» paroîtra plus gros & rayonné : alors, si
» vous placez votre doigt à droite de l'œil
» ouvert, & que vous l'approchiez de
» l'axe de cet œil de droite à gauche pour
» couvrir

» couvrir ce point lumineux, vous verrez
» diſtinctement l'ombre de votre doigt
» venir au contraire de gauche à droite,
» & paſſer ſur le point lumineux dans le
» ſens oppoſé à la direction que vous lui
» donnez. Si vous faites enſuite paſſer
» devant le point lumineux votre doigt
» de gauche à droite, ſon ombre y paſ-
» ſera de droite à gauche; enfin, ſi vous
» l'y faites paſſer de haut en bas, ou de
» bas en haut, ſon ombre paſſera toujours
» en ſens contraire ſur le point lumineux.
» Il eſt donc ſenſible (dit le ſavant Au-
» teur du Traité des Sens) que l'ame voit
» alors les objets renverſés, comme leurs
» images le ſont dans l'œil, & qu'elle rap-
» porte les impreſſions aux endroits de
» l'œil où elle les ſent, & non aux en-
» droits d'où les rayons viennent, comme
» elle le fait, quand elle peut rectifier
» ſon jugement; car ici, elle voit aller
» mon doigt de gauche à droite, quand
» il va réellement de droite à gauche;
» donc l'ame rapporte alors les impreſ-
» ſions renverſées comme elle les ſent;
» donc, elle ne corrige pas ſon jugement.
» Et d'où vient? c'eſt ſans doute parce
» que ce point lumineux n'a ni haut ni
» bas, ni côté droit ni côté gauche, ni

» aucun objet voiſin, très-éclairé, qui » réveille & fixe l'attention de l'ame ; en » un mot, il n'y a rien qui puiſſe déter- » miner ſon jugement «.

L'explication donnée par M. le Cat de ſon expérience, ne me paroît pas admiſſible ; car il eſt palpable que ſi, regardant un point lumineux, je fais paſſer devant mon œil un corps opaque, comme dans l'expérience citée, ce corps opaque ne peut former aucune ombre ; mais ſeulement diminuer la clarté de ce point dans mon œil.

Il me paroît qu'on peut rendre raiſon de cette expérience de la manière ſuivante.

Soit C (*fig.* 3), le centre d'un miroir convexe PQ, ſur lequel un point lumineux envoie des rayons. Il en eſt un CA qui paſſe par le centre, & ſert avec la formule connue des miroirs convexes à déterminer la peinture imaginaire de ce point en *a* : donc, le point A réfléchi par le miroir convexe ſe peint en *x* ſur la rétine de l'œil, repréſenté par la lentille OM : B repréſente le doigt ou le corps opaque que je fais paſſer devant l'œil, pendant que je regarde dans le miroir le point lumineux. Si le corps B étoit éclairé du côté de l'œil, il viendroit ſe rendre en Y : mais il ne l'eſt

pas dans l'expérience en queſtion : donc, il ne doit point y avoir en Y de peinture de ce point. Nous avons auſſi prouvé qu'il ne pouvoit pas faire ombre dans l'œil ; par conſéquent, ce corps ne peut être apperçu que dans le miroir où il doit paroître en B comme une ombre, parce qu'il n'a été éclairé que par un miroir convexe, qui, dans ce cas, n'envoie que des rayons très-divergens. Il eſt donc palpable que ce corps vu en *b* ſe peindra en *ʒ* ſur la rétine : par conſéquent, le corps B doit paroître en *b*, à gauche du point lumineux vu en Q dans le miroir convexe, quoiqu'il ſoit en B, à droite de ce point Q.

Puiſque l'expérience de l'Auteur du Traité des Sens n'a plus rien qui nous arrête, nous pouvons nous occuper de la direction ſelon laquelle nous rapportons les objets.

M. d'Alembert révoque en doute, dans le premier volume de ſes Opuſcules Mathématiques, ce prétendu axiome des Opticiens, que tout objet, ou plutôt tout point viſible eſt apperçu dans le rayon qui va de ce point viſible à l'œil.

Cette propoſition, remarque M. d'Alembert, ne paroît devoir ſouffrir aucune difficulté, lorſque le rayon viſuel eſt dans

l'axe optique ; parce qu'alors le rayon viſuel traverſe l'œil en ligne droite, ſans ſouffrir aucune réfraction ; mais il n'en eſt pas ainſi des rayons qui entrent dans l'œil obliquement, & qui viennent des côtés de l'objet ; car ces rayons ſouffrent néceſſairement des réfractions dans les humeurs de l'œil ; de ſorte que la partie du rayon qui frappe le fond de l'œil, & qui eſt la cauſe immédiate de la viſion, n'eſt pas en ligne droite avec la partie du rayon qui eſt venue du point viſible à l'œil. Ce n'eſt pas tout, ajoute M. d'Alembert, le rayon qui frappe le fond de l'œil n'affecte pas l'organe ſuivant ſa propre direction. Mais ſon action ſur le fond de l'œil doit s'exercer & s'eſtimer, conformément aux loix de la méchanique, c'eſt-à-dire, ſuivant une direction perpendiculaire à la courbure, que le fond de l'œil forme en cet endroit.

Les expériences ſuivantes paroiſſent confirmer cette aſſertion.

Prenez une plaque de cuivre percée de deux petits trous, diſtans l'un de l'autre d'une ligne : adaptez vis-à-vis des deux petits trous un verre biconcave, de douze lignes de rayon ; enfumez légèrement la moitié de ce verre ; faites répondre à un des trous de la plaque de cuivre la partie

enfumée du verre, & à l'autre trou, la partie du verre qui n'eſt pas enfumée; regardez enſuite, à la diſtance de douze ou quinze pieds, la flamme d'une bougie : vous verrez deux points lumineux, ſéparés l'un de l'autre par un intervalle très-ſenſible.

Cette expérience prouve que nous ne jugeons pas de la direction des objets par celle des rayons. En effet (*fig.* 4), ſoit A, la flamme d'une bougie; ſoit BD, le verre biconcave, dont la partie B eſt enfumée; ſoit encore E & F, les deux trous percés dans la plaque de cuivre, & diſtans l'un de l'autre d'une ligne.

Il eſt évident que les rayons AF, qui traverſent la partie F du verre biconcave, ſe rendent en *h*, après avoir ſubi différentes réfractions produites par le verre & par les humeurs de l'œil.

Les rayons AE, qui paſſent par la partie enfumée B du verre, ſe rendent de la même manière en *g*. Mais, au lieu de juger les deux images *h*, *g*, ſelon les directions *h*F, & *g*E, on les rapporte au contraire, ſelon les directions *g*K & *hi*.

On ne peut pas craindre de ſe tromper ſur ces directions, à cauſe de la couleur rouge de l'image *g*.

En variant cette expérience avec des verres concaves & convexes de différentes ſphéricités, on trouvera que l'inclinaiſon des rayons qui frappent la rétine, n'indiquent que dans quelques circonſtances particulières, la direction ſelon laquelle nous jugeons les objets.

Pour connoître avec préciſion cette direction, je m'y ſuis pris de la manière ſuivante.

J'ai pris une plaque de cuivre percée de deux petits trous, diſtans l'un de l'autre de deux lignes : je n'adapte pas de verre à cette plaque comme dans l'expérience précédente, parce que j'ai la vue ſi courte, que les objets doivent être placés à la diſtance de ſoixante-ſix lignes de mon œil, pour que je les voye diſtinctement (ceux qui répéteront cette expérience, ſans avoir la vue très-courte, ſeront obligés de ſe ſervir d'un verre convexe, pour ſe procurer un miopiſme artificiel, néceſſaire au ſuccès de l'expérience en queſtion).

Si je regarde par les deux petits trous de la plaque de cuivre la flamme de deux bougies, écartées l'une de l'autre de ſix pouces, je ne vois que deux bougies quand mon œil eſt à la diſtance de ſoixante & ſix lignes de ces objets. Mais à la diſtance

de ſix pieds, j'en diſtingue quatre; à dix-huit pieds je n'en vois que trois, parce qu'il y en a deux qui ſe confondent; enfin, à vingt-quatre pieds, j'en diſtingue encore quatre. Il ſuit de-là que, pour ma vue, l'écartement apparent des bougies eſt égal à leur écartement réel, lorſque mon œil en eſt éloigné de dix-huit pieds : par conſéquent, ſi je regarde à cette même diſtance de dix-huit pieds la flamme d'une ſeule bougie par deux petits trous, diſtans l'un de l'autre de deux lignes, les deux images qui ſe tracent ſur la rétine ſe rapportent, ſelon deux lignes, qui ſont entre elles un angle d'un degré trente-ſix minutes; car cet angle eſt déterminé par la diſtance de dix-huit pieds, & l'écartement des deux bougies, qui eſt de ſix pouces.

Il s'agit donc de trouver, par le calcul, l'intervalle qui ſépare au fond de l'œil les deux images de la flamme de la bougie : or, rien n'eſt plus facile, en ſuppoſant connues les dimenſions de l'œil, & la force réfractive des milieux. Ces meſures n'ont pas beſoin de préciſion pour l'objet en queſtion.

Suppoſons, avec M. Petit, le rayon de courbure de la cornée de 3, 5 de ligne ſa diſtance au cryſtallin, de 1, 3 de ligne

le rayon de courbure de la ſurface antérieure du cryſtallin, de 3, 5 de ligne, & celui de la ſurface poſtérieure, de 2, 5 de ligne, ſon épaiſſeur, deux lignes.

J'ai trouvé en outre, par des expériences faites avec ſoin ſur la force réfractive des humeurs de l'œil humain, que la réfraction moyenne du corps vitré eſt de 1, 332 à 1, & celle de l'humeur aqueuſe de 1, 329 à 1. Je n'ai pas déterminé celle du cryſtallin, parce qu'il perd ſa tranſparence lorſqu'on l'enferme entre deux calottes de verres, & qu'on le force à en prendre les courbures. Ainſi, je me ſervirai du rapport donné par M. Jurin, qui eſt de 1, 46 à 1, en attendant que je puiſſe m'aſſûrer de l'exactitude de cette détermination.

C'eſt à M. Tenon que je ſuis redevable des expériences que j'ai faites ſur l'œil de l'homme & ſur celui du bœuf. Je n'ai apperçu aucune différence entre leurs pouvoirs réfractifs. Il me reſte encore à fixer la force diſperſive de ces milieux ; & ce n'eſt qu'à l'aide de la machine, dont on trouvera plus bas la deſcription, que je puis parvenir à un réſultat précis.

La diſtance *g a* (*fig.* 5), de l'objet à mon œil, pour la viſion parfaite, étant de 66 lig.

m & *h*, les deux trous éloignés l'un de l'autre de deux lignes, on trouvera par les dimenſions données précédemment, que les rayons *g m* & *g h* ſe réuniſſent en *r* ſur la rétine; mais lorſque la diſtance *g a*, au lieu d'être de ſoixante-ſix lignes, ſera de dix-huit pieds, alors les rayons qui paſſent par les trous *m* & *h* ſe réuniſſent en K, & tombent ſur les points *o* & *q* de la rétine *o r q*. La diſtance *o q*, entre ces deux points, ſe déduit des ſuppoſitions que nous venons de faire, ainſi que la diſtance du centre de la cornée à la rétine. D'où il ſuit que *a r* = 10, 29 de ligne, & *o q* = 0, 146 de ligne.

Mais en regardant à travers de deux trous, diſtans l'un de l'autre de deux lignes, la flamme d'une bougie placée à dix-huit pieds de mon œil, l'expérience prouve que je juge les deux petites images qui s'en tracent ſur la rétine ſous un angle d'un degré trente-ſix minutes: or cet angle de 1° 36′ pour corde *o q* = 0, 146 de ligne, dont le rayon P*r* = 5, 228 lignes; par conſéquent le point P ne diffère pas ſenſiblement du centre de l'œil: ainſi l'action des rayons qni frappent le fond de l'œil, s'exerce & s'eſtime conformément aux loix

de la méchanique, c'eſt-à-dire, ſelon une direction perpendiculaire à la courbure de la rétine, comme M. d'Alembert l'avoit imaginé.

Il me paroit aſſez vraiſemblable que la viſion s'opère par un mouvement de vibration communiqué aux houppes nerveuſes qui tapiſſent le fond de l'œil; car ſi ces houppes nerveuſes ſont ſuſceptibles de contraction comme la prunelle, cette contraction n'expliqueroit-elle pas aſſez naturellement comment des objets placés à des diſtances inégales, ſont ſenſiblement vus avec la même diſtinction? Cette hypothèſe n'a, ce me ſemble, rien de choquant, & paroît ſe déduire naturellement de l'expérience dont les Oculiſtes ſe ſervent pour connoître la nature de l'œil ſoumis à leur examen.

Cette épreuve conſiſte à placer l'œil devant une lumière vive: on le tient d'abord fermé, puis on l'ouvre ſubitement. Si la prunelle ſe reſſerre beaucoup, l'œil eſt bon; ſi elle ſe reſſerre peu, on peut aſſûrer que cet œil voit foiblement; mais ſi elle eſt immobile, cet œil ne voit pas du tout.

Le bon œil reſſerre ſa prunelle, parce

que l'organe immédiat de la vue eſt frappé par une lumière vive qui l'aiguillonne, & met ſes fibres en contraction. Le mauvais œil reſte immobile, parce que l'organe immédiat de la vue n'eſt plus ſenſible à l'impreſſion de la lumière. J'ai éprouvé qu'on ne pouvoit parvenir à faire reſſerrer la prunelle en faiſant tomber obliquement ſur l'iris une lumière très-vive, telle que celle qui eſt produite par le foyer d'un verre convexe qui réunit la flamme d'une bougie ſur l'iris, ſans que cette lumière puiſſe faire aucune impreſſion ſur l'organe immédiat de la vue. Dans un Mémoire que je lus en 1770 à l'Académie ſur ce ſujet, j'étois dans l'opinion de la plupart des Phyſiciens, ſur la variabilité du foyer de l'œil. Cette ſuppoſition me laiſſa des doutes ſur la préciſion de l'aſtromètre ou héliomètre de M. Bouguer. En effet, ſoit S & T (*fig. 6.*), deux étoiles qui font entr'elles l'angle SCT, les rayons qui partent de l'étoile T, tombent ſur la lentille B qui les réunit en C; les rayons émanés de l'étoile S paſſent de même par la lentille A, qui les réunit auſſi en C.

Ne conſidérons d'abord que les axes optiques, les rayons principaux BC, AC,

rencontrent l'oculaire, l'un en D, & l'autre en E.

La diſtance du foyer C à l'oculaire étant égale dans les vues ordinaires, à-peu-près à la diſtance focale de l'oculaire, tous les rayons ſortent de l'oculaire parallèles entr'eux, ſans en excepter les axes optiques BD, AE: il eſt donc inutile pour notre objet, que le diamètre de l'oculaire excède l'ouverture de la prunelle, ſoit CG, diſtance focale de l'oculaire égal un pouce, lorſque la diſtance focale des objectifs eſt de 36 pouces. Si DE ouverture de la prunelle eſt de deux lignes GE = GD = 1 lignes, on aura GC à GE comme le rayon des tables eſt à la tangente de l'angle GCE; ainſi l'angle GCE ſera de 9° 36′ quand les rayons qui viennent de C ont une direction telle qu'ils ne peuvent tomber que ſur les extrêmités de la prunelle, ce qui eſt préciſément la même choſe que ſi on ſe ſervoit, comme dans les expériences précédentes, d'une plaque de cuivre percée de deux trous, diſtans l'un de l'autre de deux lignes, pour regarder le point C: ainſi il eſt palpable qu'on doit voir deux images de ce point C toutes les fois que les rayons émanés de ce point ne coincéderont pas exactement ſur le même point de la rétine.

Or cette condition n'eſt jamais rigoureuſement néceſſaire pour la viſion parfaite, ſur-tout dans cet inſtrument où les faiſceaux de lumière CE & CD n'occupent qu'une très-petite partie de la prunelle. Réciproquement on pourroit ne voir qu'un ſeul objet, quand même il y auroit deux objets ſéparés au point C ; & cela doit arriver quand les rayons émanés de ces deux points ſe réuniſſent au fond de l'œil : mais ce qu'il importe ſur-tout de remarquer, c'eſt que la ſeule variation du foyer de l'œil devroit produire une variation de quinze à ſeize minutes dans les arcs de huit à neuf degrés, qui eſt, comme nous l'avons vu, la plus grande extenſion que l'on peut donner à cet inſtrument. Or on ne remarque pas d'auſſi grandes variations, & je me ſuis aſſûré par expérience que même le plus ou le moins d'intenſité de lumière dans les objets que je regardois par cet inſtrument, ne cauſoit pas de grands changemens dans la meſure d'angles de 8 à 9 degrés, quoique les différens degrés d'intenſité que je me propoſois, faiſoient varier ſenſiblement ma prunelle ; d'où je conclus que le foyer de l'œil ne varie pas ſenſiblement, ou du moins autant que je croyois avant mes

expériences ſur l'aſtromètre de M. Bouguer.

Le Rapport des Commiſſaires de l'Académie, non-ſeulement fixera d'une manière préciſe l'époque du commencement de mes recherches ſur ce ſujet, mais encore fera voir une erreur de calcul qui m'avoit fait trouver la diſtance *o q* des deux images ſur le fond de l'œil de 0, 291, au lieu qu'elle n'eſt que la moitié, c'eſt-à-dire, 0, 146 lignes. Cette erreur même prouve que je n'étois préoccupé d'aucune hypothèſe, lorſque j'ai fait ce travail, puiſque le rayon de l'arc qui meſure le vrai écartement ne paſſeroit pas le centre de l'œil s'il eût été de dix lignes, comme je le croyois alors.

EXTRAIT des Regiſtres de l'Académie Royale des Sciences, du 30 Janvier 1771.

MESSIEURS Bezout, de Bory & moi, Commiſſaires nommés par l'Académie, avons examiné un Mémoire de M. l'Abbé de Rochon, contenant des Expériences ſur la viſion, & des recherches ſur quelques queſtions qui concernent cet organe.

L'expérience qui ſert de fondement à

ces recherches, eſt déjà connue : ſi on perce une carte de deux petits trous, dont la diſtance ſoit un peu plus petite que le diamètre de la prunelle, & qu'enſuite, en mettant cette carte très-proche de l'œil, & faiſant répondre les deux petits trous aux extrêmités de la prunelle, on regarde une bougie dans un certain éloignement, cette bougie paroîtra double, & l'écartement des deux images ſera d'autant plus grand, qu'on aura la vue plus courte.

M. l'Abbé de Rochon remarque d'abord qu'en ſe mettant à une certaine diſtance de la bougie, il n'en paroît qu'une ſeule, & cette diſtance ſe trouve préciſément être celle où l'œil libre voit le plus diſtinctement les objets ; ſi on ſe rapproche, ou ſi on s'éloigne de ce point, la bougie paroît double. Delà l'Auteur conclut que, dans le premier cas, les deux faiſceaux de rayons qui paſſent par les trous de la carte, ne font qu'une ſenſation unique ſur l'organe, c'eſt-à-dire, que leur foyer ſe trouve préciſément ſur la ſurface de la rétine, ou plutôt ſur le velouté de la choroïde, & que dans les autres cas il y a deux impreſſions diſtinctes ſur la choroïde, ce qui montre qu'alors les foyers des faiſceaux ſont en deçà ou en delà de cette

membrane. Cette remarque conduit M. l'Abbé de Rochon à la recherche de la direction, ſuivant laquelle on rapporte des objets, recherche délicate dont nous allons eſſayer de rendre compte.

M. l'Abbé de Rochon commence par déterminer l'angle d'écartement que produit dans ſon organe l'inſpection d'une bougie à travers deux petits trous, dont les centres ſont exactement à deux lignes de diſtance l'un de l'autre; pour cela il place deux petites bougies diſtantes entre elles de ſept pouces : il les regarde d'abord à la diſtance de dix lignes; & comme c'eſt le point où M. l'Abbé de Rochon voit le plus diſtinctement les objets, par ce que nous avons dit ci-deſſus, qu'il ne voit alors que deux bougies; il s'éloigne enſuite inſenſiblement, & chacune de ces bougies commence à paroître double; enfin en s'éloignant davantage des quatre bougies qu'il voit, les deux qui ſont dans le milieu ſe rapprochent, & lorſque l'œil eſt à vingt pieds de diſtance, elles coincident parfaitement, & M. l'Abbé de Rochon ne voit plus que trois bougies; d'où il conclut qu'alors les deux images de chaque bougie ſe ſont écartées de ſept pouces, ce qui eſt la diſtance à laquelle les deux bougies

bougies avoient été placées entre elles.

Le sinus de l'angle d'écartement est donc de 7 pouces divisés par 20 pieds, ce qui donne 1° 40′ pour l'angle sous lequel M. l'Abbé de Rochon voit les deux images de la même bougie, lorsque les trous faits dans la carte sont éloignés de deux lignes, & que cette bougie est à vingt pieds de son œil; cet angle varie, comme on le pense bien, suivant les différentes vues, & M. l'Abbé de Rochon a fait plusieurs expériences pour le confirmer.

Voyons à présent l'angle que les deux faisceaux font dans l'œil. Suivant les Anatomistes, la distance ordinaire de la prunelle à la rétine est de $10\frac{1}{7}$ de lignes, & par conséquent la distance focale de l'œil de M. l'Abbé de Rochon, lorsqu'il regarde des objets placés à 70 lignes de son œil, est de $10\frac{1}{5}$ lignes. Maintenant en considérant l'œil comme un objectif lenticulaire quelconque, M. l'Abbé de Rochon trouve que si à la distance de 70 lignes, la distance focale est de $10\frac{1}{5}$ lignes, elle doit être de 9,02 lignes lorsque les objets sont à vingt pieds de distance: par conséquent dans l'expérience que l'Auteur vient de citer, les deux faisceaux de rayons faisoient dans l'œil un angle dont la corde

eſt de 2 lignes, & le rayon de 9, 02 lignes, c'eſt-à-dire, un angle de 12° 48', environ huit fois plus grand que le vrai angle d'écartement meſuré par l'expérience; d'où M. l'Abbé de Rochon tire cette premiere conſéquence, qu'on ne rapporte point les objets dans la direction, ſuivant laquelle ſe fait l'impreſſion ſur l'organe. Pour déterminer la vraie direction qu'on voudroit connoître, l'Auteur cherche dabord la diſtance des deux images ſur le fond de l'œil, & il trouve, d'après les calculs précédens, qu'elles doivent être éloignées de 0, 291 lignes, cherchant enſuite le rayon d'un arc qui meſureroit le vrai écartement donné par l'expérience, c'eſt-à-dire, l'angle de 1° 40', & qui auroit pour corde 0, 291 lignes, il trouve environ 10 lignes. L'auteur a fait la même expérience ſur d'autres yeux, & il a toujours trouvé qu'on rapportoit les objets à un point placé dans l'axe de l'œil à la diſtance de 9 à 10 lignes du fond de la choroïde. M. l'Abbé de Rochon ſoupçonne que ce pourroit être le rayon de courbure de la partie de la choroïde qui reçoit ordinairement l'impreſſion des rayons, & dans ce cas ſon réſultat confirmeroit une conjecture de M. d'Alembert, qui, en regardant les rayons qui

frappent la rétine comme des corps quelconques qui frappent une surface, concluoit, d'après les regles ordinaires du choc des corps, que l'impression devroit se faire suivant une direction perpendiculaire à la surface du fond de l'œil.

M. l'Abbé de Rochon confirme par plusieurs expériences le résultat qu'il a trouvé : nous ne nous y arrêterons pas, non plus que sur quelques autres questions que l'Auteur traite dans son Mémoire, & nous passerons à une application intéressante qu'il fait de l'expérience fondamentale à l'examen d'un défaut des Astromètres. On sait que l'astromètre ou l'héliomètre de M. Bouguer est composé de deux demi-objectifs qu'on fait mouvoir sur la circonférence d'un cercle dont le rayon est la distance focale des objectifs. Si par le moyen de cet instrument on regarde deux points lumineux qui fassent à notre œil un angle égal à celui que soutendent sur l'astromètre les centres des deux objectifs, & qu'on place ensuite un oculaire dont le foyer soit celui des objectifs, les deux images sortiront parallèles de l'oculaire, & séparées entre elles de la même maniere que dans l'expérience fondamentale de la carte percée de deux trous : il suit delà que

les phénomènes trouvés dans cette expérience auront aussi lieu dans l'astromètre, suivant l'écartement qu'auront les deux images.

Pour nous assûrer de la vérité de ce qu'avance M. l'Abbé de Rochon, nous avons fait quelques expériences avec un astromètre propre à mesurer de grands angles, tel que ceux que M. de Charnieres, Lieutenant de vaisseau, a imaginé de construire pour mesurer à la mer les distances d'étoiles à la lune. Notre astromètre a vingt pouces de rayon, & les oculaires ont neuf à dix lignes de foyer; nous avons mesuré d'abord un écartement de deux objets fort éclairés qui s'est trouvé de 5° 42′, nous avons mis ensuite devant notre œil un objectif qui devoit produire l'effet du miopisme, & avec lequel nous ne voyions les objets distinctement qu'à la distance de cinq pouces; cet objectif ainsi placé, nous avons vu que les deux images qui étoient d'abord en contact, se sont croisées, & nous avons été obligés, pour reproduire le contact, de donner aux objectifs un mouvement de 1′ 30″. Nous avons trouvé ensuite pour un angle d'écartement de 7° 10′ un changement de 2′; ainsi la remarque de M. l'Abbé de Rochon est

très-juste, & il est vrai que des yeux différemment conformés mesurant avec l'astromètre de M. Bouguer l'écartement de deux objets éloignés, ne trouveront pas la même mesure. Cependant nous remarquerons que, si l'oculaire étoit placé pour chaque œil de manière que les objets parussent parfaitement distincts, alors le point de contact seroit le même pour les yeux; mais outre que cette détermination est toujours assez délicate, il arrive que souvent le foyer de notre œil varie, & qu'alors il doit y avoir une erreur dans la mesure de l'angle: il seroit important de déterminer par expérience jusqu'à quel point cette erreur peut aller.

Voilà ce que nous avions à dire de plus essentiel sur le Mémoire de M. l'Abbé de Rochon; ce Mémoire annonce dans l'Auteur des vues fines & délicates: nous l'invitons à suivre de plus en plus son travail sur le méchanisme de la vision, & nous l'engageons en particulier à s'aider de toutes les connoissances que la Géométrie & l'Anatomie réunies pourront lui procurer, pour décider si en effet nous rapportons les objets dans une direction perpendiculaire à la partie de la choroïde frappée par les rayons. Quant aux remarques sur

l'aſtromètre de M. Bouguer, nous ne ſaurions avoir trop de détails ſur cette matiere, & nous penſons que l'Académie verroit avec plaiſir des expériences détaillées faites avec cet inſtrument. En attendant, nous croyons que le Mémoire de M. l'Abbé de Rochon mérite les éloges de l'Académie & l'impreſſion dans les volumes des Savans étangers. Au Louvre le 30 Janvier 1771. BORY, le Chevalier BORDA.

Je certifie le préſent Extrait conforme à l'original & au jugement de l'Académie, ce 30 Janvier 1778. Le Marquis DE CONDORCET.

POURQUOI ne voyons-nous pas les objets doubles, puiſque nous avons deux yeux?

QUAND on regarde un objet des deux yeux, ſon image ſe peint ſur l'une & l'autre membrane qui tapiſſe le fond de l'œil. Cependant on ne voit pas l'objet double, ſi ces deux peintures ſe font ſur des parties correſpondantes des rétines : quelle peut être la cauſe de cette ſenſation unique? N'y a-t-il qu'une image à laquelle l'ame ſoit attentive, ou bien les deux images concourent-elles à l'émouvoir?

On croit assez généralement que les deux impressions contribuent à la sensation. Plusieurs Philosophes célèbres pensent même que nous voyons d'abord les objets doubles, & que ce faux jugement est ensuite rectifié par le toucher.

M. Smith raconte qu'une personne ayant les yeux dérangés par un coup à la tête, vit très-longtemps les objets doubles, mais que peu-à-peu il vint à juger simples ceux qui lui étoient les plus familiers, & qu'enfin, après bien du temps & par degré, il les jugea tous simples comme auparavant, quoique le dérangement de ses yeux subsistât toujours. A ce fait surprenant joignons & discutons des expériences intéressantes, par lesquelles M. Dutour a voulu prouver que l'ame n'étoit émue que par une des impressions.

» J'ai collé (dit M. Dutour) sur l'une
» des faces d'une feuille de carton, un cercle
» de taffetas bleu d'un pouce de diamètre,
» & sur la face opposée un autre cercle
» de pareille grandeur de taffetas jaune,
» de sorte que les deux cercles se trouvoient
» exactement adossés l'un à l'autre sans
» se déborder aucunement. J'ai disposé ce
» carton tout contre mon nez dans un
» plan vertical & perpendiculaire à mon

» visage. De mon œil droit je voyois seu-
» lement la tache bleue, & non la jaune,
» & c'étoit celle-ci qui s'offroit à mon œil
» gauche, exclusivement à la bleue ; ainsi
» chacune de ces taches se peignoit sépa-
» rément, la bleue dans mon œil droit,
» la jaune dans mon œil gauche. Cepen-
» dant je ne discernois en tout qu'une
» seule tache ; des deux images, il ne ré-
» sultoit dans mon ame que la perception
» d'un objet unique.

» Si cette perception (ajoute M. Du-
» tour) eût été le produit combiné des
» impressions simultanées des deux ima-
» ges, la tache n'auroit-elle pas dû paroî-
» tre verte ? Or je n'ai pu y démêler au-
» cune teinte de vert. Cette tache unique
» que j'appercevois, me paroissoit tantôt
» bleue, tantôt jaune, selon apparemment
» que les rayons de lumière réfléchis par
» l'un ou par l'autre de ces deux cercles,
» frappoient avec plus d'énergie l'un ou
» l'autre de mes yeux, & quelquefois aussi
» la tache me paroissoit mi-partie de bleu
» & de jaune léger. J'attribue encore à ce
» que certaine portion du cercle bleu s'of-
» froit plus avantageusement à ma vue
» que les endroits correspondans du cercle
» jaune, tandis que réciproquement le

» cercle bleu affectoit plus foiblement
» ma vue que la partie correſpondante
» du cercle jaune.

» N'y a-t-il pas lieu de conclure delà qu'en
» un même inſtant mon ame ne reſſentoit
» l'impreſſion que de la moitié de la ſomme
» des rayons de lumière réfléchis par les
» deux cercles, & qu'elle ne ſauroit être
» affectée à la fois par deux points cor-
» reſpondans des deux ? Car ſi cela étoit,
» ces deux points qui dans la perception
» de l'objet ſe trouveroient appliqués l'un
» ſur l'autre, ne ſeroient repréſentés que
» par un ſeul, qui ſeroit coloré tout à la
» fois en bleu & en jaune, & par conſé-
» quent devroit paroître vert......

» Si on regarde des deux yeux le point
» A (*fig.* 7.) ſuppoſé à 4 ou 5 pouces de
» diſtance, & qu'on place ſur les axes
» optiques EA, GA, en deçà du point A
» de leur interſection, deux petits mor-
» ceaux de taffetas, l'un bleu en D,
» l'autre jaune en C, on ne verra qu'une
» ſeule tache ou bleue ou jaune, ou mi-
» partie de ces deux couleurs, & jamais
» verte ; on la jugera ſituée ſur la ligne
» AA qui coupe en deux parties égales
» l'angle DAC.

» Il y auroit une troiſième façon de

» les disposer sur les axes optiques, savoir, au delà du point A de leur intersection, en P & en N, par exemple, & les apparences seront encore les mêmes alors tant qu'on ne pourra discerner chacun de ces deux objets qu'avec un œil.

» Pour observer cette condition, il faut placer entre les yeux & les objets un carton K (*fig.* 8.) percé d'un trou, où l'on fera rencontrer le point A d'intersection des axes optiques EN, GP; par ce moyen on ne verra qu'une seule tache ou bleue ou jaune, si l'on a attention de tourner les yeux de façon que les deux morceaux de taffetas NP soient précisément chacun dans la direction d'un des axes optiques.

» Si les faits que je viens de rapporter (dit M. Dutour) concourent à établir que de deux objets qui se peignent dans les yeux, il n'y en a qu'un seul qui affecte l'ame quand leurs images tombent ou au point des rétines où les axes optiques aboutissent, ou sur des points correspondans entr'eux, à plus forte raison serons-nous fondés à admettre qu'un même objet ne peut produire en pareil cas qu'une seule impres-

» ſion efficace ſur l'ame, quoiqu'il ſe
» peigne en même temps dans l'un & l'au-
» tre œil «.

On trouve dans les Tranſactions philoſophiques, n°. 358, une expérience analogue à celles dont nous venons de rendre compte : au lieu de cercles jaunes & bleus on ſe ſervit de cercles verts & rouges, & même, pour mieux appercevoir le phénomène, on ſubſtitua aux cercles verts & rouges la flamme d'une allumette & un fer rouge; on vit alors une tache mi-partie de ces deux couleurs.

Quoi qu'il en ſoit, en examinant le principe qui ſert de baſe à l'aſſertion de M. Dutour, on ſent qu'il laiſſe de l'incertitude & de l'obſcurité ; car de ce que l'expérience apprend que la réunion des rayons jaunes & bleus donne du vert, peut-on en conclure qu'on aura la ſenſation de vert quand l'ame ſera affectée en même temps de la ſenſation de jaune par l'œil droit, & de la ſenſation de bleu par l'œil gauche? Au reſte, l'ame pouvant identifier difficilement, c'eſt-à-dire, rapporter à la même place deux objets hétérogènes, comme le jaune & le bleu, elle ſe trouve preſque forcée de ne s'occuper que de l'une de ces couleurs : on

ſaiſit bien ſon état & l'embarras où elle ſe trouve, puiſqu'en répétant cette expérience avec une extrême attention, on voit un cercle jaune à travers un cercle bleu, & alternativement un cercle bleu à travers un cercle jaune, mais d'une manière très confuſe.

Je ſubſtitue (*fig.* 9.) aux deux cercles jaunes & bleus de M. Dutour, deux autres cercles de carton blanc : les chiffres (*un* & *ſix*) tracés ſur l'un de ces cercles, & les chiffres (*ſept* & *neuf*) tracés ſur l'autre, ont entr'eux un arrangement tel qu'il en réſulteroit le nombre 1769, ſi ces deux cercles étoient tranſparens & mis exactement l'un ſur l'autre. Je diſpoſe enſuite ces deux cercles comme dans les expériences de M. Dutour, de ſorte que les images tombent ſur des parties correſpondantes des rétines ; alors les deux cercles ne produiſent que la ſenſation d'un cercle ſur lequel 1769 ſemble tracé.

On peut faire cette expérience d'une manière plus compliquée, & toujours avec un égal ſuccès, pourvu qu'on n'ait pas l'habitude de ne regarder que d'un œil, ou une grande inégalité dans les deux yeux.

Il ſuit delà que l'on peut voir des deux

yeux ; car si les deux yeux n'étoient pas sensibles en même temps à l'impression des deux images qui tombent sur les parties correspondantes des rétines, on ne devroit jamais voir que 16 ou 79.

Lorsque les yeux sont d'égale force, & que l'on regarde un objet des deux yeux, il semble (dit M. de Buffon) qu'on devroit le voir une fois mieux qu'avec un seul œil ; cependant la sensation qui résulte de ces deux espèces de vision, paroît être la même ; il n'y a pas de différence sensible entre les sensations qui résultent de l'une & l'autre façon de voir. M. Jurin, dans son Essai sur la vision distincte, a trouvé par expérience qu'avec deux yeux égaux en force, on voyoit mieux qu'avec un seul œil, mais d'une treizième partie seulement. Comment se peut-il que cette cause, qui est double, produise un effet simple, ou presque simple ?

J'ai cru (dit M. de Buffon) qu'on pouvoit donner réponse à cette question, en regardant la sensation comme une espèce de mouvement communiqué aux nerfs. On sait que les deux nerfs optiques se portent au sortir du cerveau vers la partie antérieure de la tête où ils se réunissent, & qu'ensuite ils s'écartent l'un de l'autre, en faisant un angle obtus avant que d'ar-

river aux yeux ; d'où il résulte (ſelon M. de Buffon) une perte de mouvement proportionnelle au co-ſinus de l'angle que les deux nerfs font entr'eux. Or cet angle étant d'environ cent degrés, la ſenſation résultante des deux impreſſions ne doit ſurpaſſer en force que d'un treizième celle produite par chaque impreſſion ſéparée.

Quoi qu'il en ſoit, nous avons prouvé d'une manière inconteſtable, que l'on pouvoit ſentir en même tems les deux images qui ſe peignent ſur nos rétines dans des parties correſpondantes : il s'agit maintenant de ſavoir ſi nous voyons les objets doubles dès que nous commençons à diſcerner les objets, & ſi ce faux jugement eſt par la ſuite rectifié par le toucher.

Conſultons encore là-deſſus l'expérience ; elle ſeule doit toujours ſervir de baſe aux recherches phyſiques.

Prenez un priſme, qui produit une réfraction de deux degrés ; placez ce priſme devant l'œil droit, regardez enſuite la flamme d'une bougie des deux yeux ; ſi vous enfumez légèrement le priſme vous diſtinguerez plus aiſément l'image qui eſt deſſinée au fond de votre œil droit d'avec celle qui ſe peint dans votre œil gauche : la première de ces images eſt formée par des rayons réfractés par le priſme, &

légèrement colorés, tandis que la seconde image est vue par des rayons directs.

Il semble qu'on devroit voir les deux images de la bougie séparées par un intervalle de deux degrés, puisque le prisme déplace les rayons qui entrent dans l'œil droit de cette quantité : cependant ces deux images se voyent dans cette expérience l'une sur l'autre, lorsque l'axe du prisme est vertical (1). Or comment se peut-il que l'habitude nous fasse dans l'expérience en question rapporter à la même place les deux images de cette bougie, écartées par le prisme de huit à dix degrés ?

La vraie cause de cette illusion n'est-elle pas plutôt dans la structure même des yeux ? L'impression faite sur l'œil gauche par les rayons directs, force, ce me semble, l'œil droit de se diriger de manière que les rayons réfractés par le prisme dont il est armé, tombent sur la partie correspondante des retines, d'où résulte dans tous les cas la perception des images à la même place. Un seul œil nous montre sans doute

(1) Quand l'axe du prisme est horizontal, alors l'objet paroît double, & les deux images paroissent l'une au dessus de l'autre écartées de deux degrés ; ce qui prouve que l'œil n'a pas la faculté de se mouvoir de haut & bas comme de droit à gauche ; observation bien digne de remarque.

la direction des objets ; mais les deux yeux ſont néceſſaires pour aſſigner leur vraie place : auſſi tenteroit-on vainement, avec un ſeul œil, de faire paſſer pluſieurs fois de ſuite un fil de fer ou une tringle attachée perpendiculairement à l'extrémité d'un long bâton, par une bague ſuſpendue par un fil très-délié au milieu d'un grand appartement, & préſentée de profil : ce n'eſt que par haſard, ſur-tout ſi le bâton eſt fort long & l'appartement fort vaſte, qu'on fera paſſer la tringle dans la bague, parce qu'un ſeul œil ne juge bien que l'alignement, mais des deux yeux on y réuſſira tout de ſuite.

Cette expérience eſt ſi connue, qu'il eſt inutile de s'y arrêter ; mais j'ai dû la rapporter, parce qu'elle vient à l'appui de mon aſſertion.

Le jugement que nous portons ſur la diſtance & la grandeur des objets, eſt-il ſoumis à des principes connus ?

M. Smith dit, dans ſon Traité d'Optique, que l'idée de la grandeur de l'objet eſt ce qui nous donne celle de ſa diſtance, & par ce principe il explique comment certains objets éloignés & fort étendus, comme

comme des montagnes des villes vues au travers d'un air pur, paroiſſent ſenſiblement plus proches qu'ils ne paroiſſent lorſque l'air eſt chargé de vapeur. Car, dit M. Smith, l'idée d'une grandeur plus petite ou plus grande n'eſt pas une ſimple idée d'une plus petite ou d'une plus grande ſurface uniforme : elle renferme de plus l'idée d'un nombre plus petit ou plus grand de parties diſtinctes de l'objet connu non imaginé, mais actuellement apperçu. Or, puiſque les petites parties d'un objet connu, dont un air groſſier nous dérobe ordinairement la vue, ſe découvrent & s'apperçoivent plus clairement dans un air plus pur ; l'objet doit paroître un peu plus près à travers l'air plus dur qu'à travers l'air groſſier & preſque à la même proximité à laquelle on le verroit, ſi on s'en approchoit aſſez pour découvrir autant de petites parties dans un air plus groſſier qu'on en a apperçu d'une plus grande diſtance dans un air plus pur. M. Smith dit preſque à la même proximité, parce que l'objet entier paroiſſant plus grand lorſqu'on le voit de plus près, ſon apparence plus grande contribuera à en diminuer la diſtance apparente, à quoi

contribuera aussi la vue d'une moindre étendue de pays interposé.

Dans la Peinture, on rend d'une manière frappante les grandeurs & les distances apparentes, en observant la dégradation de lumière, & en rendant les contours des figures plus foibles & plus sensibles, selon que les objets sont plus ou moins éloignés, en proportionnant toutefois leurs dimensions à leur distance de l'œil.

Les Anciens croyoient qu'un objet vu par réflexion ou par réfraction, étoit apperçu à l'endroit où le rayon rompu & réflechi, prolongé, coupe la perpendiculaire menée de l'objet sur la surface réfringente ou réfléchissante. M. d'Alembert remarque dans ses Opuscules Mathématiques, qu'il seroit plus naturel & plus exact de rapporter le lieu de l'image à la perpendiculaire, menée de l'objet à la tangente au point de la surface où se fait la réflexion ou la réfraction, qu'à la perpendiculaire menée sur la surface, laquelle est absolument indépendante de la position du rayon réfléchi ou rompu, & du point réfléchissant ou rompant.

Le Docteur Barow, en répétant l'expérience qui paroît avoir servi de base au

principe des Anciens, trouva, en regardant obliquement un fil à plomb plongé en partie dans l'eau, que la partie submergée du fil paroissoit séparée de la partie du fil hors de l'eau, vu par réflexion; d'où il conclut que dans la réfraction l'image ne paroît point à l'endroit où le rayon rompu & la cathete d'incidence se touchent.

J'ai répété l'expérience de Barow, & j'ai vu comme lui l'image réfléchie du fil dans un autre plan que la partie submergée du fil. Il est vrai que dans une eau tranquille où le fil à plomb n'a aucune oscillation, une des images cache la vue de l'autre, à moins qu'elles ne soient d'inégales longueurs; car alors, quoique les deux images soient dans le même alignement par rapport à l'œil, le plomb paroît détaché du fil réfléchi.

On peut encore s'assûrer de cet écartement, en donnant au fil à plomb de petites vibrations.

Cette expérience n'offre rien, ce me semble, qui ne soit conforme aux loix connues de la réflexion & de la réfraction. En effet, si l'image réfléchi se trouvoit dans le même plan que l'image réfractée, que deviendroit alors l'effet de la réfraction?

Auſſi Barow ne s'en ſert que pour attaquer le principe des Anciens, & pour propoſer pour regle qu'un point quelconque vu par réflexion ou par réfraction, paroît au point de concours des rayons réfléchis ou rompus.

Barow avoue en même temps que les verres convexes ou concaves avec leſquels on peut varier à volonté le degré de divergence, & même rendre les rayons parallèles ou convergens, ne paroiſſent pas changer le lieu de l'objet, conformément à ſon principe ; car ſi on regarde avec un verre convexe un point placé à un pied de diſtance de l'œil, & que ce verre ait une convexité ſuffiſante pour rendre parallèles les rayons émanés de ce point.

Ce point devroit, ſelon la regle propoſée par Barow, paroître dans un très-grand éloignement. Or l'expérience prouve qu'il ne change pas ſenſiblement de place ; d'où il ſuit, ce me ſemble, que la regle en queſtion ne doit pas être adoptée.

Nous jugeons ſans doute les objets dans la direction des rayons rompus ou réfléchis, quoique cette direction n'aſſigne pas toujours leur place, quand on y joindroit le degré de divergence ; mais l'illumination plus ou moins forte des objets, & la

dégradation de lumiere des objets intermédiaires ont sur cette détermination une influence à laquelle on ne peut se refuser. C'est en les observant scrupuleusement, que les Peintres parviennent à rendre le relief sur des surfaces planes.

Plusieurs instrumens d'optiques nous prouvent aussi que, dès qu'on déplace un objet, ou plutôt dès qu'on l'isole en changeant son degré d'illumination par rapport à l'œil, sa distance ne paroît plus la même ; c'est ce qui s'observe sur-tout dans les lunettes. La chambre obscure qui rend, sur une glace dépolie, c'est-à-dire, sur un plan, un paysage dans des proportions relatives au foyer de l'objectif, représente, quelque petit que soit le tableau, les distances & les grandeurs respectives avec une vérité qu'on ne peut se lasser d'admirer, sans toutefois donner une idée de la distance dont ces objets sont de l'œil ; ce qui provient du déplacement, de l'isolement & du degré d'illumination du tableau.

Quand on regarde des objets, l'œil armé d'un verre convexe ou concave, les objets paroissent s'approcher ou s'éloigner en écartant plus ou moins ces verres de l'œil. D'où peut provenir ce mouvement, si

ce n'eſt du degré d'illumination plus ou moins fort ? En effet, lorſque le verre convexe eſt contre l'œil, ce verre ne paroît pas influer d'une manière ſenſible ſur le lieu des objets ; mais ſi on l'écarte de l'œil, l'illumination deviendra plus forte, relativement à l'œil, & l'objet paroîtra par ce mouvement s'approcher. Ce ſera tout le contraire avec un verre concave, l'illumination diminuera en l'éloignant de l'œil, & ce mouvement le fera paroître s'éloigner.

Veut-on une expérience plus déciſive? Le priſme de cryſtal d'Iſlande la fournit.

Ce priſme, dont nous expliquerons bientôt l'uſage, jouit de la ſinguliere propriété de doubler les objets dans le ſens de ſon angle réfringent. Mais quoique les deux images ſoient d'égale force, les aſpects varient ſelon la poſition de l'axe du priſme par rapport à l'œil. (*fig.* 10 & 11.) En effet, quand l'axe eſt vertical, les deux images du même objet paroiſſent à côté l'une de l'autre également éclairées & à la même diſtance ; mais ſi l'axe du priſme eſt horizontal, l'apparence change ; l'image la plus élevée paroît toujours la plus éloignée. Ainſi les deux images ſont vues dans ce cas dans des plans très-différens ; c'eſt-

à-dire, l'une au-deſſus de l'autre, à des diſtances d'autant plus inégales, que le payſage qu'on regarde eſt plus varié & a plus d'étendue; car les objets iſolés, tels que les corps céleſtes, ne font pas la même illuſion. Ce phénomène peut-il laiſſer encore des doutes ſur l'effet produit par les différentes illuminations ſur les diſtances? Si les deux images formées par le priſme de cryſtal d'Iſlande, deviennent par leur déplacement tranſparentes au point de ſe reſſentir du degré d'illumination des objets ſur leſquels elles portent, & qui les recouvrent, ne faut-il pas que l'image la plus élevée paroiſſe la plus éloignée, puiſqu'elle porte ſur des objets plus éloignés, & qu'elle eſt recouverte par l'image tranſparente des objets très-éloignés? Ainſi le même objet paroît à des diſtances très-inégales, ſans augmenter ni diminuer la divergence de ſes rayons, par la ſeule différence d'illumination.

Au reſte, il me ſemble ſi difficile d'aſſigner dans tous les cas le véritable lieu des objets, & cette détermination dépend de tant de circonſtances particulières, que j'ai cru devoir me borner dans cet Eſſai à rapporter les expériences qui jettent le plus de lumière ſur cette queſ-

tion célèbre, ſans oſer prétendre à l'honneur de la réſoudre. D'ailleurs, pour l'attaquer avec quelque ſuccès, ne faudroit-il pas connoître la manière dont s'opèrent les ſenſations ?

On ne peut s'occuper des myſtères de la viſion, ſans penſer à l'idée ſublime de M. Euler, qui, en réfléchiſſant ſur la ſtructure de l'œil, ſoupçonne que cet organe n'eſt composé de différens milieux, que pour corriger l'aberration inévitable produite par la différente réfrangibilité d'un ſeul milieu. On peut ſans doute oppoſer à cette hypothèſe l'inutilité de la correction de l'aberration pour la viſion diſtincte, car le foyer de l'œil eſt ſi court, que cette aberration ne peut jamais être ſenſible. D'ailleurs, pour que cette correction eût lieu, ne faudroit-il pas que les couleurs produites par les humeurs aqueuſes & vitrées fuſſent conſidérablement plus fortes que celles produites par le cryſtallin ? Or M. Jurin dit que la réfraction moyenne du cryſtallin eſt beaucoup plus forte que celles des humeurs aqueuſes & vitrées, & que leur rapport eſt à-peu-près comme 136 à 133 ; & c'eſt une obſervation qui n'a juſqu'à préſent contre elle aucune exception, que plus la diſper-

ſion occaſionnée par l'inégale réfrangibilité des rayons de lumière, eſt conſidérable dans un milieu réfringent, plus la réfraction moyenne de ce milieu eſt forte; d'où il ſeroit aſſez naturel de penſer qu'il exiſte dans l'œil une aberration de réfrangibilité : il eſt même poſſible qu'une petite aberration ſoit néceſſaire à la viſion parfaite, pour étendre plus uniformément la lumière ſur les houppes nerveuſes qui peuvent être ſuſceptibles de contraction, ſelon le degré d'activité de la lumière. Auſſi, dès qu'on regarde des objets par des trous moindres qu'un cinquième de ligne, les objets aſſez lumineux pour ſubir cette épreuve deviennent confus, quoique l'aberration ſoit certainement diminuée. Ce phénomène eſt encore plus remarquable dans les lunettes & dans les téleſcopes; car quoiqu'on ſe ſerve pour Vénus de la même lunette avec laquelle on obſerve Saturne & les autres Planettes, on ne peut cependant ſe permettre de diminuer l'ouverture de l'objectif proportionnellement à l'éclat de Vénus, dont la lumière eſt deux cent vingt-cinq fois plus forte que celle de Saturne; le faiſceau cylindrique de lumière devenant par-là beaucoup moindre qu'un cinquième de ligne,

les bords de la planette ſeroient mal terminés : c'eſt pourquoi, lorſque l'éclat de Vénus ou de la Lune bleſſe ou fatigue l'œil, le meilleur moyen d'y remédier eſt d'enfumer légèrement l'oculaire. M. Smith, en rapportant ce fait dans ſon Traité d'Optique, dit que la raiſon de ce phénomène n'eſt pas connue, & qu'il faut la chercher dans le méchaniſme intérieur de l'œil.

Quoi qu'il en ſoit, l'idée de M. Euler n'en eſt pas moins belle, & la conſéquence qu'il en a tirée a reculé bien loin les limites de la dioptrique. Ce grand Géomètre partant de cette hypothèſe, a conçu la poſſibilité de détruire l'aberration de réfrangibilité dans les objectifs, en les compoſant de matières différemment réfringentes. Le ſuccès le plus complet a couronné ſes vues par les ſoins & les recherches de M. Dollond, qui doit partager aux yeux des Phyſiciens l'honneur de cette belle découverte, puiſque, ſans ſes expériences ſur la diſperſion du flint-glaſſ comparée à celle du verre ordinaire, on auroit douté peut-être long-tems de la poſſibilité du projet de M. Euler, dont les premiers Eſſais ont été malheureux.

Du DIASPORAMETRE *optique, ou de l'Inſtrument propre à meſurer la diſperſion des couleurs.*

NOUS avons dit que l'on pouvoit conſidérer un objectif comme un aſſemblage de priſmes dont les angles ſont variables des bords au centre ; par conſéquent ſi on parvient avec des milieux différemment réfringens à faire des priſmes achromatiques, c'eſt-à-dire, des priſmes compoſés qui produiſent de la réfraction ſans donner de couleur, on aura par-là un moyen très-facile de faire des objectifs achromatiques, & par conſéquent des lunettes ſans couleurs.

Le priſme à angle variable que je préſentois à l'Académie le 24 Février 1776, m'a paru l'inſtrument le plus commode & le plus exact pour cette recherche. Il eſt adapté devant une bonne lunette achromatique, ou devant un téleſcope, & il a tous les mouvemens néceſſaires pour que les rayons émergens & incidens faſſent le même angle avec les ſurfaces extérieures du priſme compoſé, que nous nommerons déſormais *priſme variable*. Soit

P & *p*, (*fig.* 12.) deux priſmes égaux poſés l'un ſur l'autre, ſoit AC, la refraction ou le déplacement dans l'image cauſé par le ſeul priſme P; le mouvement circulaire de ce priſme feroit décrire à l'image le cercle ADBA. Conſidérons maintenant le ſecond priſme *p*, & ſuppoſons ſa refraction CB dans un ſens oppoſé à celle du premier priſme P; il eſt palpable que ces deux priſmes, ainſi poſés l'un ſur l'autre, ne donnent aucune réfraction. Ainſi l'image reſte en C, comme s'il n'y avoit pas de priſmes, parce que AC, réfraction du priſme P, eſt égal & oppoſé à CB, réfraction du priſme *p*; & en ce cas l'index doit marquer zero ſur le cercle diviſé, deſtiné à donner la poſition reſpective des priſmes.

Mais lorſque le ſecond priſme *p* a ſa réfraction dans le même ſens que le priſme P, alors l'index marquera 180°, & cette réfraction ſera ajoutée à AC: ainſi CF déſignera alors la réfraction des deux priſmes, dont l'égalité dans leurs forces réfractives & dans leurs angles, rend CF = 2 CA.

Si du point A pris pour centre & avec le rayon AC, on trace le demi-cercle FEC, je dis que les réfractions du

prisme variable seront données par les cordes que les angles des prismes P & *p* font entr'eux.

En effet, supposons le prisme variable dans l'état où l'index marque zero, alors la réfraction AC du prisme P est détruite par la refraction CB du second prisme *p o r*. Le premier prisme P restant fixe, si on tourne le second prisme *p* de B en D, alors la réfraction de ce prisme sera selon la direction CD & des deux réfractions AC & CD : il résultera par le principe de la décomposition des forces, une réfraction moyenne CE, désignée par la diagonale du parallélogramme CAED, c'est-à-dire, par la corde CE = BD de l'angle que les deux prismes font entr'eux. Or les cordes sont comme les sinus de la moitié des arcs qu'ils soutendent ; donc les réfractions d'un prisme variable sont entr'elles comme les sinus de la moitié des arcs que les prismes font entr'eux. Et parce que les réfractions sont comme les angles des prismes quand les rayons incidens & émergens font sur leurs surfaces le même angle, les angles résultans du mouvement circulaire de deux prismes l'un sur l'autre, sont entr'eux comme les

ſinus de la moitié des arcs formés par leurs poſitions reſpectives.

Tel eſt le principe qui a ſervi à la conſtruction de la Table qui eſt à la fin de cet Ouvrage. Chaque priſme eſt ſuppoſé d'un angle de trente minutes, & deux de ces priſmes poſés l'un ſur l'autre forment un *priſme variable* qui repréſente tous les priſmes dont les angles ſont compris depuis zero juſqu'à un degré. On voit par cette Table que la poſition moyenne entre zero & 180°, qui eſt 90°, ne donne pas l'angle qui tient le milieu entre zero & un degré, lequel ſeroit trente minutes. On voit que cet angle eſt bien différent, puiſqu'il eſt de 42′ 26″.

Pour ne pas donner inutilement trop d'étendue à notre Table, nous avons ſuppoſé la ſomme des deux priſmes d'un degré : mais ſi cette ſomme, au lieu d'être d'un degré, en donnoit ſoixante, la même Table ſerviroit de la même manière, en multipliant par ſoixante le nombre cherché ; ainſi au lieu de 42′ 26″ qui indique l'angle réſultant de deux priſmes de 30′, lorſque leur arc de poſition eſt de 90°, on auroit pour deux primes de trente degrés dans la même ſituation,

quarante - deux degrés vingt - ſix minutes.

Dans l'inſtrument dont je me ſers pour connoître la force diſperſive des milieux, les deux priſmes ſont de verre de la Manufacture des Glaces du Fauxbourg Saint Antoine, & d'un angle de cinq degrés chacun ; ainſi le mouvement circulaire de ces deux priſmes l'un ſur l'autre me donne tous les angles compris depuis zero juſqu'à dix degrés.

Ce priſme variable eſt adapté (*fig.* 13.) devant une bonne lunette achromatique, & a tous les mouvemens néceſſaires pour remplir le but que je me ſuis propoſé dans ces recherches delicates.

Entre l'objectif de la lunette & ce priſme, on place le milieu priſmatique dont on veut connoître la diſperſion, & par mon priſme variable je parviens à détruire les couleurs, qui ſont une ſuite néceſſaire de la forme priſmatique du milieu que je veux examiner.

J'ai toujours eu la précaution de donner aux différens milieux que j'ai éprouvés, un angle de cinq degrés, afin d'avoir tout de ſuite le rapport des angles, ſans être obligé d'avoir recours à l'expérience pour les déterminer, ce qui eſt auſſi ſimple

que commode dans la pratique. Mais pour être assûré que mes différens milieux ont absolument le même angle, je m'y suis pris de la manière suivante. J'ai attaché ensemble avec de la colle de poisson quatre morceaux de verre (*fig.* 14.) de différentes densités; je les ai ensuite arrondis & travaillés comme un verre d'un seul morceau, & je me suis efforcé de leur donner un angle de 5°. On conçoit que la mesure précise de cet angle n'est pas essentielle, puisque les différens milieux ont nécessairement le même angle, ce qui remplit l'objet principal. Les quatre milieux qui composent ce prisme, sont le verre de la Manufacture des Glaces du Fauxbourg Saint-Antoine, & absolument de la même nature de glace que celle qui a servi à faire mon prisme variable, puisque je l'ai tiré du même fragment de glace. J'ai ensuite pris du flintglass, du strass & du crownglass, qui sont les verres qui servent à la construction des lunettes achromatiques. Tous ces milieux de différentes natures ont nécessairement le même angle; & présentés devant ma lunette achromatique successivement, ils doivent colorer les objets proportionnellement à leurs forces dispersives. Exposons dabord la

partie

du prisme, qui est de verre de la Manufacture des Glaces, devant l'objectif de la lunette achromatique, il donnera des couleurs proportionnées à son angle réfringent, & à sa vertu dispersive. Je détruis les couleurs au moyen de mon prisme variable, ce qui est très-facile par le mouvement circulaire des deux prismes qui le composent, & qui peuvent dans tous les cas produire un effet égal & opposé à l'effet produit par le milieu prismatique dont on veut connoître la dispersion. Il est à remarquer qu'il ne suffit pas de donner au *prisme variable* l'angle nécessaire pour lui faire produire un spectre aussi étendu que celui du milieu prismatique mis en expérience ; il faut encore que les deux spectres soient dans un sens opposé.

L'angle que les deux prismes qui composent le *prisme variable*, font entr'eux pour détruire les couleurs qui naissent de la forme prismatique des quatre milieux que nous voulons éprouver, détermine le rapport de dispersion avec la plus grande précision.

Cet angle est de 70° pour le verre de la Manufacture des Glaces, de 67° pour le crown-glass, de 117° pour le flint-glass,

enfin de 137° pour le ſtraſſ. Ces quatre poſitions reſpectives des priſmes qui compoſent ce que nous nommons *priſme variable*, répondent dans la Table première à 34′ 25″ pour 70°; 33′ 7″ pour 67°; 50′ 10″ pour 117°, & à 55′ 50″ pour 137°. Ainſi les quatre angles du *priſme variable* néceſſaires à l'achromatiſme des quatre milieux, ſont entr'eux comme 34′ 25″; 33′ 7″; 50′ 10″, & 55′ 50″. Or ces quatre milieux ayant abſolument le même angle, & le milieu priſmatique de la Manufacture étant de même nature de verre que le priſme variable, il ſuit de-là que le rapport de diſperſion de ce verre au crown-glaſſ, eſt de 34′ 25″ à 33′ 7″, ou en réduiſant en ſecondes ces quantités comme 2065″ à 1987″, ce qui s'éloigne peu de 20 à 19. Quant au rapport de diſperſion entre le verre de la Manufacture & le flint glaſſ, il eſt par la même raiſon de 34′ 25″ à 50′ 10″, ou de 2065″ à 3010″, rapport qui diffère peu de celui de 3 à 2. On aura également le rapport de diſperſion entre le verre de la Manufacture & le ſtraſſ de 34′ 25″ à 55′ 50″, ou ce qui revient au même, de 2065″ à 3350″, c'eſt-à-dire, de 20 à 33 à-peu-près.

Nous avons auſſi déterminé & la ré-

fraction moyenne de ces quatre milieux & leur pesanteur spécifique, nous avons trouvé par expérience que le pouce cube du verre de la Manufacture dont nous venons de déterminer la dispersion, pese 977 grains; sa réfraction moyenne nous a de plus paru ne pas différer sensiblement du rapport donné par Newton, de 1, 55, en nous servant pour cela d'une méthode très-précise dont nous rendron scompte bientôt.

Le pouce cube de notre crown-glass ne pese que 945 grains, & sa réfraction approche fort de 1, 56. Quant au flint-glass, il paroît contenir beaucoup moins de plomb que celui qui nous venoit d'Angleterre dans les premiers temps des lunettes achromatiques, car le pouce cube de celui que je viens d'examiner ne pese que 1206 grains, & j'en ai trouvé qui pesoit plus de 1263 grains: aussi sa réfraction moyenne n'est elle que de 1, 60, tandis que celle qui a lieu dans le flint-glass pesant 1263 grains, est de 1, 62, & sa dispersion beaucoup plus considérable & fort peu éloignée de celle du strass, qui compose un de nos quatre milieux prismatiques. Ce strass pese 1262 grains le pouce cube, & sa réfraction moyenne est aussi de 1, 62. Dans

toutes nos expériences sur la dispersion, nous sommes parvenus à dissiper les couleurs, au point de n'en voir par le télescope aucune trace ; ainsi rien de plus facile que de faire des prismes achromatiques, & les Physiciens qui ont avancé qu'il falloit plus de deux milieux de différente nature pour se procurer dans les prismes l'achromatisme desiré, n'ont fondé cette assertion que sur des expériences qui ne comportent aucune précision, & par conséquent qui ne méritent de nous arrêter.

Nous ne rapporterons pas toutes les expériences que nous avons faites avec notre nouvel instrument, il nous suffit d'avoir montré avec quelle facilité on parvient à déterminer le rapport de dispersion qui a lieu dans les différens milieux. On peut sans doute par la mesure des longueurs des spectres fixer ce rapport, mais cette dernière méthode n'est pas comparable à la première pour l'exactitude ; d'ailleurs il nous importoit de prouver la possibilité de faire des prismes achromatiques assez parfaits pour les usages auxquels nous nous proposons de les appliquer. Je sentis dès l'année 1776 qu'on pouvoit les employer avec succès à

la mesure des angles ; & je lus à ce sujet à l'Académie deux Mémoires qui furent imprimés en 1768 dans mes Opuscules Mathématiques.

Il est nécessaire, pour les recherches dont j'ai à rendre compte, de remettre sous les yeux du Lecteur tout ce qui a rapport à cet objet, qui dans ces derniers temps a fixé d'une maniere particulière l'attention du Public.

MÉMOIRE*,

Sur les moyens de rendre l'Héliomètre de M. Bouguer, propre à mesurer des angles considérables, afin de faciliter les observations de distances d'Etoiles à la Lune.

LES Astronomes conviennent (*Opuscules Mathématiques, page* 51 *& suivantes*) que l'héliomètre est de tous les instrumens le plus propre à mesurer avec précision des distances d'étoiles à la lune. Cette ap-

* Ce Mémoire a été lu à l'Académie au mois de Février 1767.

plication n'avoit pas échappé à M. Bouguer, lorſqu'il en donna, pour la premiere fois, la deſcription & l'uſage dans les Mémoires de l'Académie, *année* 1748 ; mais cet inſtrument, ſous la forme que lui donnent les Aſtronomes, ne meſurant que de très-petits angles, ne peut ſervir qu'à meſurer de petites diſtances d'étoiles à la lune ; cependant il eſt eſſentiel de le rendre ſuſceptible de meſurer des angles aſſez conſidérables, parce que le grand éclat de la lune & l'agitation du vaiſſeau effacent l'impreſſion des petites étoiles, & que la lune eſt quelquefois aſſez éloignée des étoiles, qui par leur éclat, ſont ſuſceptibles d'être obſervées.

Cette conſidération m'avoit engagé à examiner, dans mon premier Mémoire, ſi on ne pouvoit pas rendre l'héliomètre ſuſceptible de meſurer des angles conſidérables. Les principes de Dioptrique ſur leſquels la théorie de cet inſtrument eſt fondée, me firent naître l'idée de faire décrire aux objectifs des arcs de cercle dont le rayon ſeroit égal à la diſtance focale de l'objectif. J'ignorois alors que M. Bouguer avoit propoſé le même expédient dans ſon Mémoire déjà cité.

On ſait que l'héliomètre eſt un inſtru-

ment composé de deux objectifs combinés avec un seul oculaire ; un de ces objectifs est mobile, & peut s'approcher ou s'éloigner, selon le besoin, par le moyen d'une vis. Le mouvement de l'objectif se fait en ligne droite, & cela ne peut causer d'erreur considérable dans la mesure d'un petit angle ; mais il n'en est pas de même, si on vouloit s'en servir à mesurer des angles considérables.

Lorsqu'on voudra (dit M. Bouguer) que l'héliomètre serve pour des angles plus grands, il faudra rendre chaque objectif mobile, & munir les micromètres qui les feroient mouvoir, de vis plus longues ; mais il faudroit aussi alors en vérifier la valeur par des opérations trigonométriques faites en grand.

Rien n'empêcheroit de rendre notre nouvel instrument également propre à mesurer des angles de grandeurs beaucoup plus différentes ; il n'y auroit pour cela qu'à se procurer la commodité, indépendamment du jeu du micromètre, de changer les objectifs de place & regler leurs distances par le moyen d'une espèce de limbe mis à côté ; on pourroit encore, si on le vouloit, appliquer chaque objec-

tif ſur une platine différente, & faire gliſſer l'une ſur l'autre : il eſt facile d'imaginer une infinité d'autres diſpoſitions. Il y a tout lieu de croire qu'on ne trouveroit pas de difficulté à obſerver avec un pareil inſtrument, pourvu qu'il n'eût qu'une longueur médiocre, les angles qui iroient juſqu'à trois & quatre degrés, quoique ces deux images commençaſſent à ſe préſenter un peu obliquement.

M. Bouguer pouſſe encore la préciſion plus loin, & dit dans un autre endroit du même Mémoire, que dans la meſure même des petits angles, ce ſeroit le mieux que les deux objectifs ne fuſſent pas abſolument dans le même plan, mais qu'ils fuſſent un peu inclinés l'un à l'autre.

Si les objectifs ſe mouvoient dans le même plan, le point de contact des deux objets ſe trouveroit formé par des rayons qui, tombant obliquement ſur l'axe des objectifs, ſe réuniroient beaucoup moins parfaitement que s'ils étoient perpendiculaires à l'axe. Ce n'eſt pas ici le lieu de chercher le rapport de cette aberration à celle de l'axe, cette recherche me meneroit trop loin, elle ſeroit d'ailleurs déplacée. Il me ſuffit de remarquer que ce défaut, qui n'eſt pas fort ſenſible dans la

mesure des petits angles, devient assez grand dans la mesure d'angles considérables. Il empêche aussi que l'Observateur saisisse avec précision le point de contact quand bien même il feroit varier la distance de l'oculaire à ce point, selon la difformité de l'objet, observant d'y avoir égard dans la division de l'instrument.

On est donc bien éloigné dans ce cas d'obtenir avec l'héliomètre cette précision qui le fait préférer, pour la mesure précise des angles, aux autres instrumens qui servent aux mêmes usages, sur-tout si on fait attention aux autres erreurs qui sont encore beaucoup plus considérables que le défaut dont nous venons de faire mention; telles sont, par exemple, l'erreur causée par la parallaxe optique; l'obliquité de la peinture des astres au foyer des objectifs; la vision indistincte de l'objet par les bords prismatiques de l'oculaire.

En faisant décrire aux objectifs un arc de cercle qui ait pour rayon la distance focale de l'objectif, on remédie au mauvais effet produit par l'obliquité des rayons sur l'axe des objectifs, mais les autres inconvéniens subsistent. Il faut cependant convenir que l'erreur causée par la parallaxe optique y est moindre; mais à moins

qu'on ne ſe ſerve d'objectifs achromatiques, elle eſt aſſez conſidérable dans la meſure d'un angle de 3 à 4 degrés ; car on voit aiſément que la parallaxe optique croît en raiſon directe de la grandeur des angles. M. Bouguer, dans ſon Traité de la figure de la terre, nous apprend que cette parallaxe eſt un obſtacle qu'il n'a pu ſurmonter entièrement. Il ne s'eſt garanti du mauvais effet qu'elle produit, qu'en faiſant paſſer l'aſtre à peu de diſtance du centre du champ, comme à 1′ ou 2′. On évite de cette ſorte, ajoute-t-il, une obliquité dans la viſion de l'objet, qui peut être très-préjudiciable : cette attention lui a paru ſi eſſentielle, qu'il n'a pu ſe réſoudre dans ſes obſervations à comprendre pluſieurs étoiles dans le champ de ſa lunette, en la laiſſant dans la même ſituation, & il a toujours été très-exact à pointer ſur chacune, afin de l'avoir plus près du centre.

Quant à la confuſion qui provient de la viſion par les bords priſmatiques de l'oculaire, elle eſt exceſſive lorſqu'on veut embraſſer un champ conſidérable, à moins qu'on ne ſe ſerve d'oculaires achromatiques, ce qui a de très-grands inconvéniens, parce que les oculaires ne ſont pas

comme les objectifs de petites portions de ſphères.

D'ailleurs, la grandeur de l'arc qu'on peut meſurer avec l'héliomètre, étant en raiſon directe de l'ouverture de l'objectif & du diamètre de la prunelle, & en raiſon inverſe de la diſtance focale de l'oculaire, il eſt borné par-là à la meſure d'aſſez petits angles. Je ſuppoſe, en effet, que la diſtance focale des objectifs ſoit de trois pieds, l'oculaire qui convient à cet objectif eſt, ſuivant l'expérience, d'un pouce. Si on ſuppoſe l'ouverture de la prunelle d'environ deux lignes, on aura cette proportion : 12 lignes, foyer de l'oculaire, eſt à une ligne, demi-diamètre de la prunelle, comme le rayon des tables eſt à la tangente de la moitié de l'arc que l'héliomètre peut embraſſer, qu'on trouve de 9°. 36′.

Ainſi, le plus grand angle qu'on peut meſurer avec cet inſtrument, eſt de 9° 36′.

On peut démontrer très-aiſément ce que je viens d'avancer, de la maniere ſuivante. (*fig.6.*)

Soit S & T, deux étoiles qui font entr'elles l'angle SCT ; les rayons qui partent de l'étoile T, tombent ſur la len-

tille B qui les réunit en C ; ceux qui partent de l'étoile S, tombent sur la lentille A qui les réunit aussi en C. Ne considérons d'abord que les axes optiques : les rayons principaux BC, AC, rencontrent l'oculaire, l'un en D & l'autre en E.

Comme la distance du foyer C à l'oculaire doit être égale, dans les vues ordinaires, à la distance focale de l'oculaire, tous les rayons sortent de l'oculaire paralleles entr'eux, sans en excepter les axes optiques BD, AE. Il est donc inutile que le diamètre de l'oculaire excède l'ouverture de la prunelle : ainsi en supposant l'ouverture de la prunelle de 2 lignes DE = 2 lignes ; donc GE = GD = 1 ligne, & CG, distance focale de l'oculaire, = 12 lignes. On a donc CG : GE :: le rayon des tables est à la tangente de l'angle GCE.

Dans tout ceci nous n'avons pas fait attention à l'ouverture des objectifs ; mais on peut y avoir égard en faisant cette analogie : le diamètre de l'objectif est à la largeur du faisceau sur l'oculaire, comme la distance focale de l'objectif est à la distance focale de l'oculaire ; si l'ouverture de l'objectif est de 12 lignes, la largeur du faisceau de lumiere sur l'oculaire est d'un tiers de ligne.

C'eſt donc un tiers de ligne à retrancher des deux lignes que nous ſuppoſons pour l'ouverture de la prunelle, lorſqu'on veut que les objets ſe peignent dans l'œil avec toute la lumiere qui tombe ſur les objectifs : ce qui réduit l'angle qu'on peut meſurer avec l'héliomètre, à 7° 56'.

Puiſque le diamètre de l'oculaire ne rend pas l'héliomètre ſuſceptible de comprendre des arcs plus grands, il me paroît qu'on peut, ſans inconvénient, ſubſtituer aux oculaires convexes, les oculaires concaves. Cette remarque avoit échappé, ce me ſemble, aux Aſtronomes qui ſe ſont occupés de cet objet, & elle eſt cependant aſſez intéreſſante.

Enfin il paroît qu'il eſt difficile d'exécuter avec préciſion un héliomètre, dont les objectifs décriroient des arcs de cercle.

N'y auroit-il pas moyen d'éviter ces inconvéniens, & de rendre cependant l'héliomère propre à meſurer des angles conſidérables ? Voici le moyen que j'ai imaginé, & qui fera, ce me ſemble, diſparoître en partie la difficulté.

Je ne change rien à la conſtruction de l'héliomètre, dont les Aſtronomes ſe ſervent ; je fais ſeulement gliſſer une pla-

tine qui porte différens prismes achromatiques. Je pose devant l'objectif le prisme qui est relatif à la mesure de l'angle que je veux prendre, & dont on connoît par expérience la réfraction avec exactitude.

On sait que les prismes achromatiques ne défigurent point l'objet, ils réfractent sans produire de couleurs; on peut donc les destiner aux mêmes usages que les miroirs plans dont on connoît l'utilité dans plusieurs instrumens, pour faire prendre à la lumière une direction quelconque; car sans parler du pomelescope, de la chambre obscure & du quartier de réflexion, on se sert dans le télescope Newtonien, d'un miroir plan de métal incliné de 45° pour jetter la lumière de côté, & rendre sa direction perpendiculaire à l'axe du grand miroir.

Je suppose que l'héliomètre auquel je veux faire mesurer des angles de 24°, est en mesure 6 par l'écartement des objectifs. Je prends trois prismes achromatiques, dont le premier cause une réfraction de 6°, le second de 12°, le troisième de 18°. Il importe peu qu'il y ait quelques minutes de plus, pourvu qu'on y ait égard; ainsi cette condition ne renferme rien qui ne

ſoit praticable. Je mets ces trois priſmes dans un chaſſis qui gliſſe dans une rainure, de maniere qu'on peut faire paſſer devant un des objectifs le priſme qui convient. Ainſi, ſi on veut meſurer un angle de 15° 30′, on interpoſe le priſme qui cauſe une réfraction de 12°, & l'écartement des objectifs fera le reſte.

On ſent que je n'ai dû avoir d'autre but dans cette conſtruction, que d'éviter les erreurs dans leſquelles on tombe en faiſant décrire aux objectifs des arcs de cercle. D'ailleurs l'invariabilité des angles des priſmes rend, ce me ſemble, cet inſtrument auſſi précis qu'on peut le deſirer.

Arrêtons-nous un moment aux objections que l'on peut faire contre cet inſtrument, & qu'il eſt bon de prévenir.

Je ne puis diſſimuler que la différente inclinaiſon de la lumière ſur le priſme, peut cauſer une variation dans la réfraction; mais cette variation eſt très-petite, & il eſt facile d'y avoir égard, ſans rien changer à la graduation de l'inſtrument; il ſuffit de la calculer pour toutes les obliquités qui en donnent une ſenſible.

Afin de mieux ſaiſir la difficulté, je vais reprendre ici, en peu de mots, les formules de Dioptrique, qui ſont relatives à cet objet. Soit l'angle d'incidence que

fait la lumière avec la perpendiculaire à la ſurface du priſme $= a$; l'angle du même priſme $= b$; & ſoit le rapport du ſinus d'incidence au ſinus de réfraction, en entrant dans le verre, comme m à 1. Si l'on nomme y l'angle que font enſemble le rayon incident & le rayon rompu, la Géométrie donne $y = (m - 1) b + \frac{m^2 - 1}{6 m^2} \left\{ (m b - a)^3 + a^3 \right\}$, à peu près; ce qui ſe réduit à $y = \overline{m - 1}\, b$, lorſque l'angle du priſme & celui d'incidence ne ſont pas conſidérables. On voit par-là que dans une nature de verre déterminée, m ſe trouve une quantité conſtante, & b étant auſſi conſtant par ſa nature, y le devient ſenſiblement.

Si on a deux priſmes contigus & de matière différente, comme dans le cas dont il s'agit, ſoit b' l'angle du ſecond priſme, m' à 1 le rapport de réfraction, y' l'angle de réfraction que les rayons incidens ſur les priſmes forment avec les émergens. On aura cette équation, $y' = (m' - 1) b' - (m - 1) b + \frac{m'^2 - 1}{6 m'^2} \left\{ (m' b' - mb + a)^3 + (mb - a)^3 \right\} - \frac{m^2 - 1}{6 m^2} \left\{ (mb - a)^3 + a^3 \right\}$; ce qui donne à-peu-près, lorſque les

les angles des prismes sont petits, $(m' - 1) - (m - 1) b = y'$.

Si on veut détruire les iris dans ces deux prismes, il n'y a qu'à différencier $(m' - 1) b' - (m - 1) b$, en ne faisant varier que m' & m, & faire ensuite cette différentielle égale à zero. On aura $b\,dr' - bdr = 0$, ou $b'dr' = bdr$, lorsqu'on emploie du flint-glass & du verre commun. Le rapport de dr à dr' est, selon MM. Clairaut & Dollond, comme 2 à 3, & suivant des expériences que j'ai faites en me servant d'une méthode qui m'est propre, comme 5 à 8. On pourra me demander s'il ne se trouve pas de la difficulté à mesurer exactement la réfraction produite par les prismes. Ma réponse à cette objection se tire de la méthode qu'on doit employer pour mesurer cet angle avec précision.

Il faut prendre une lunette, qu'on dirige fixement vers un objet placé à vingt ou trente toises de distance de la lunette. On interpose ensuite devant l'objectif le prisme dont on veut mesurer la réfraction. On cesse dès lors de voir cet objet dans la lunette; mais on en voit un autre qui en est éloigné, à raison du pouvoir réfringent du

prisme. On mesure avec précision sur la base l'éloignement des deux objets entr'eux, & aussi leur distance de la lunette, ce qui donne les trois côtés du triangle, ensuite la trigonométrie fait connoître avec précision la distance des deux objets entr'eux, ou ce qui est le même, l'angle de réfraction.

On objectera peut-être que la position des prismes devant l'un des objectifs, exige un appareil embarrassant; rien cependant n'exige moins d'appareil qu'une platine qu'on fait glisser à coulisse, avec une précision médiocre; car il est facile de prouver qu'il faudroit un mouvement considérable de vacillation, pour produire une erreur sensible. Quant à la construction des prismes achromatiques, je n'y trouve aucune espèce de difficulté: j'en ai construit plusieurs qui ne donnoient aucune couleur sensible, & ne défiguroient point les objets. L'expérience m'a aussi convaincu que les prismes achromatiques composés de trois verres étoient préférables à ceux composés de deux verres. Au reste, comme j'applique mes prismes achromatiques sur des objectifs simples, quand ces prismes ne corrigeroient pas les couleurs parfaitement, ils seroient toujours moins sujets à donner des iris que les

objectifs ordinaires, qui, à cause de la petitesse de leur ouverture, n'en produisent cependant pas de sensibles.

Avant de terminer mes recherches sur l'héliomètre, je crois devoir remarquer que, lorsqu'on le destine à mesurer des distances, il ne seroit pas nécessaire que les deux objectifs fussent égaux. Je serois même porté à croire qu'il seroit avantageux qu'il ne le fussent pas; sur tout si on veut mesurer des arcs de cinq à six degrés.

Soit un des objectifs qui ait, par exemple, quatre pieds de distance focale; cet objectif se meut par le moyen d'une vis, & son mouvement a un arc de 30'. A trois pieds de l'objectif est un arc de cercle d'un pied de rayon qui embrasse 5 à 6°, divisé en 30'. Le second objectif est placé sur cet arc. Si on regarde la lune par l'objectif de long foyer, & l'étoile par l'objectif de court foyer, l'étoile paroîtra quatre fois plus lumineuse que si on l'examinoit par l'objectif de court foyer. Ainsi l'éclat de la lune deviendra moins capable d'en effacer l'impression, & l'instrument deviendra moins embarrassant; de plus, l'objectif peut être fait d'un verre légérement coloré, & par-là la parallaxe

optique deviendra moindre, & l'étoile plus visible (1).

On pourra peut-être rendre l'héliomètre propre à mesurer de plus grandes distances d'étoiles à la lune, (je ne dis pas avec la même précision) en mettant au foyer un verre légèrement dépoli, percé d'un trou pour laisser passer la lumiere directe de l'étoile; en sorte qu'en regardant directement l'étoile, il se fera une peinture de la lune sur le verre dépoli, qu'on appercevra en même tems. Il est évident que la lune perdra son éclat; mais elle sera encore assez lumineuse pour être examinée avec la loupe qui servira d'oculaire à l'objectif, au travers duquel on voit l'étoile; par ce moyen on préviendra l'effet de la parallaxe optique, & on mesurera des angles aussi grands qu'on le desire.

Qu'on me permette d'observer que l'héliomètre, sous cette dernière forme, diffère peu du quartier anglois: la seule différence que j'y apperçois, c'est que par l'un on observe par derrière, & par l'autre

---

(1) Cet instrument est destiné, ainsi que les précédens, à prendre des distances d'étoiles à la lune, sur mer. Si on trouve que sa longueur est embarrassante dans les dimensions que nous venons de donner, on peut lui donner la longueur convenable, en diminuant proportionnellement les dimensions précédentes.

on obſerve pardevant. On pourroit donc appliquer l'héliomètre, ainſi métamorphoſé, à prendre la hauteur du ſoleil pardevant.

Dans un autre Mémoire qui concerne les déterminations des longitudes en mer, lus de même en 1767 à l'Académie, & imprimés en 1768 dans mes Opuſcules Mathématiques, page 80 & ſuivantes, j'eſſaye d'embraſſer ſous un point de vue général tous les inſtrumens qui peuvent ſervir en mer à la meſure des angles. Je vais rendre mot pour mot l'article qui traite de cet objet important. L'inſtrument qui ſert à terre à meſurer les angles, eſt, comme on ſait, compoſé de deux lunettes ou pinnules, dont une eſt mobile autour du point fixe, ſoit ABD un limbe qui embraſſe un arc un peu plus grand que 180°, dont C eſt le centre, ſoit AC une lunette fixe, & EC une lunette mobile autour du point C. Lorſqu'on veut meſurer l'angle FCG, on met d'abord la lunette AC dans la direction AG, & on dirige l'autre lunette EC vers F ; l'arc AE donne l'angle FCG. Mais à la mer il n'eſt pas poſſible de viſer ſéparément à deux objets, du moins un ſeul Obſervateur ; on doit donc chercher, au contraire, à faire co-incider deux

objets qui font entr'eux un angle quelconque, afin que l'Obſervateur puiſſe d'un ſeul coup d'œil juger de l'arc avec préciſion.

En renverſant l'inſtrument qui ſert à terre à la meſure des angles, (c'eſt-à-dire, en mettant dans cet inſtrument deux objectifs à la place des deux oculaires, & réciproquement deux oculaires à la place des objectifs, obſervant cependant que les foyers des objectifs tombent au centre du limbe) on obtient celui auquel on doit rapporter tous ceux qui ſervent à la mer au même uſage. Nous nommerons, pour éviter une périphraſe incommode, cet inſtrument *aſtromètre.*

C'eſt ſur cette idée qu'eſt fondée la théorie que nous allons développer ; elle eſt, ce me ſemble, auſſi générale & auſſi ſimple qu'elle ſe puiſſe.

Soit ABCD (*fig.* 15.), un aſtromètre dont C eſt le centre; ACL eſt la lunette fixe, le foyer de ſon objectif A eſt en C & ſon oculaire en L ; ECH eſt la lunette mobile autour du centre C, le foyer de ſon objectif eſt en C, & ſon oculaire en H. Il eſt inutile de remarquer que les deux lunettes peuvent être d'inégales longueurs, pourvu que les foyers des objectifs coincident en C.

Si on veut prendre la meſure d'un angle quelconque FCG, on dirige la lunette fixe AL vers F, & enſuite la mobile EH vers G : l'angle FCG eſt indiqué par l'arc AE. Cet inſtrument ſous cette forme ne paroît pas encore pouvoir ſervir à la mer, parce qu'on eſt obligé de pointer ſéparément à chaque objet.

Cependant il eſt aſſez facile de l'en rendre ſuſceptible : car chaque objectif formant à leur foyer commun C une peinture des objets F & G, qui font entr'eux l'angle FCG, il s'enſuit que les deux objets n'en font plus qu'un au point C. Il ſuffit pour cela de ſe ſervir des deux yeux, c'eſt-à-dire, de regarder le point C de l'œil droit avec l'oculaire H, & de l'œil gauche avec l'oculaire L ; & parce que la diſtance de l'oculaire à l'œil eſt, juſqu'à de certaines limites, arbitraire, vu que les rayons ſortent paralleles de l'oculaire, on peut approcher ou éloigner les deux yeux de l'oculaire, ſelon que l'exige l'angle. Ainſi, ſi les objectifs ont chacun trois pieds de foyer, la diſtance focale des oculaires étant, ſelon les tables, d'un pouce, & l'intervalle entre les deux yeux d'environ deux pouces, on voit aiſément que l'angle compris par les deux

yeux, lorſqu'ils touchent les oculaires, eſt de 180°, ou HCL = 180°. Si au contraire ils en ſont éloignés d'un pouce, l'angle HCL ne ſera plus que de 60°. Enfin ſi les yeux ſont éloignés des oculaires de 11 pouces, l'angle HCL ne ſera que de 10° environ, & ainſi de ſuite.

Ce moyen de rendre l'aſtromètre propre à meſurer à la mer des angles conſidérables, n'eſt point exempt d'inconvénient; on ne doit pas non plus négliger de mettre des fils en croix au point C, parce qu'on doit craindre, en ſe ſervant ainſi des deux yeux, de voir les objets doubles.

Au lieu d'examiner le point C avec les deux oculaires H & L, on peut le regarder avec un ſeul oculaire, & conſéquemment avec un ſeul œil. On peut, ſans lui faire changer de place, parvenir à meſurer un angle; mais il ne faut pas ſe flatter de pouvoir, comme auparavant, meſurer avec cet inſtrument, ſous cette nouvelle forme, des angles de 180°; il eſt même réduit par-là à meſurer des angles toujours moindres que 10°: nous le nommerons *Héliomètre* avec M. Bouguer, qui en eſt l'inventeur. L'héliomètre a d'autant plus de préciſion, qu'on lui

fait meſurer des arcs plus petits : auſſi les Aſtronomes qui s'en ſont ſervi ne lui ont donné qu'un ou deux degrés d'amplitude. M. de la Lande m'a montré, à ſon obſervatoire du Luxembourg, un héliomètre qui avoit appartenu à M. l'Abbé de la Caille, qui meſuroit quatre degrés. Quand on ſe borne à lui faire meſurer des arcs très-petits, on peut écarter ſans inconvénient les objectifs en ligne droite, & cela ſe fait ordinairement par le ſecours d'une vis. On voit par-là que l'heliomètre n'a ſur l'aſtromètre à peu près que les mêmes avantages qu'ont les longs ſecteurs ſur les quarts de cercle.

Les détails dans leſquels je ſuis entré dans mon troiſiéme Mémoire, au ſujet de l'héliomètre, me diſpenſent de m'y arrêter ici davantage, & j'y renvoie ceux qui voudroient connoître plus particulièrement cet inſtrument.

On peut encore dans l'héliomètre ſupprimer l'oculaire, en mettant au foyer des objectifs un verre dépoli, & alors il peut ſervir à meſurer des angles quelconques ; mais en même temps cette conſtruction lui fait perdre de ſa préciſion ; il devient par-là une eſpèce de quartier anglois, propre à obſerver pardevant. Si on

ſe ſervoit de cet inſtrument pour prendre hauteur ſur mer, la peinture de l'horizon ſur le verre dépoli ne ſeroit pas aſſez vive pour être apperçue ; mais on peut éviter cet inconvénient en pratiquant dans le verre dépoli MN (*fig.* 16.), une fente horizontale *o p* pour voir directement l'horizon H par l'oculaire Q, en même temps que le ſoleil S qui ſe peint en C ſur le verre dépoli.

On peut auſſi ſubſtituer au verre dépoli un écran pour recevoir la peinture formée par les verres A & B: l'œil ne doit plus dès lors être en Q, mais en R. Comme la peinture de l'horizon ſur cet écran ſeroit trop foible, il faut y pratiquer une fente horizontale pour regarder directement l'horizon : cet inſtrument ſous cette forme n'eſt autre choſe que le quartier anglois.

Enfin ſi à la place de l'écran ou du verre dépoli on met un miroir, on aura l'inſtrument de M. de Fouchi.

Ces rapports ſe ſaiſiſſent avec trop de facilité, pour que je croye devoir entrer dans un plus grand détail. Quand on ne veut pas écarter les objectifs pour faire co-incider la peinture de deux objets qui font entr'eux un angle quelconque, il

faut ſe ſervir de priſmes ou de miroirs. Quant aux priſmes, j'en ai traité avec aſſez d'étendue dans mon troiſième Mémoire, & j'ai fait voir le moyen de s'en ſervir avec avantage.

En employant des miroirs, voici, ce me ſemble, la diſpoſition la plus naturelle qui ſe préſente. (*fig.* 17.)

Soit L la lune; E une étoile dont la diſtance reſpective eſt meſurée par l'arc LE. On regarde l'étoile E par l'oculaire N & l'objectif B, & la lune L ſera vue par l'oculaire N & par l'objectif A. On ſent qu'elle ne peut l'être qu'après avoir été réfléchie, ſelon une direction convenable, par le miroir D, qui pour cela eſt mobile autour du point D.

Au lieu de deux objectifs, on peut produire le même effet, en ſe ſervant d'un ſeul objectif qu'on peut conſidérer comme partagé en deux parties égales A & B. Sur une des moitiés A de cet objectif on fera répondre le miroir D, & par l'autre B on verra directement l'étoile E.

Cet inſtrument ſous cette forme n'eſt pas ſuſceptible de la vérification dont les Marins ont coutume de faire uſage pour s'aſſûrer de l'invariabilité dans la poſition des miroirs; car on ne peut pas faire co-in-

cider le même objet par réflexion & directement.

On peut éviter cet inconvénient principalement de deux manieres que nous allons détailler.

Le premier moyen consiste à mettre un miroir fixe vis-à-vis la moitié B de l'objectif AB ; ce miroir fixe doit faire un angle d'environ 22° avec le plan de cet objectif. On sent que par-là on vérifie facilement l'instrument, puisqu'il est toujours aisé de faire co-incider le même objet par la réflexion du miroir mobile, & par celle du miroir fixe. (*fig.* 18 & 19.)

Cet instrument sous cette forme ne differe en aucune maniere de l'octant de M. Caleb Smith, dont les avantages & les inconvéniens sont trop connus pour que je croye devoir m'en occuper. Je joins ici la figure de l'octant de M. Caleb Smith, afin qu'on en saisisse mieux le rapport. J'observerai seulement qu'il me paroît difficile de juger bien du contact du soleil avec l'horizon, parce qu'on voit le soleil dans un des miroirs & l'horizon dans l'autre ; il faut en excepter cependant le cas où l'instrument seroit muni d'une lunette, ce qui le rend à la mer d'un usage un peu plus difficile.

D'ailleurs, en regardant l'horizon par réflexion, ne doit-on pas craindre d'en trop affoiblir l'image ? Ne pourroit-on pas dans l'octant de M. Caleb Smith, ſupprimer le miroir fixe, après toutefois qu'il aura ſervi à la vérification de l'inſtrument ? Il me ſemble même qu'on parviendroit aſſez aiſément à le diſpoſer de maniere qu'on pût le mettre & l'ôter ſans craindre de variation ſenſible dans ſa poſition ; j'aimerois cependant mieux me ſervir d'un priſme achromatique que d'un miroir fixe, parce qu'il y a beaucoup moins de précaution à prendre pour le placer devant l'objectif. D'ailleurs il produit le même effet que le miroir fixe, & rendroit conſéquemment l'octant de M. Caleb Smith ſuſceptible d'être vérifié.

Le ſecond moyen obvie aſſez bien à ces inconvéniens, car on ſupprime d'abord le miroir fixe, afin qu'on puiſſe voir directement l'horizon ; on conſerve le miroir mobile qu'il faut rendre fixe : il faut mettre vis-à-vis de ce miroir fixe un autre miroir mobile, afin qu'on voye le ſoleil par une double réflexion. (*fig.* 20.)

Soit H, l'horizon qu'on voit directement par la partie B de l'objectif AB. Si

le miroir fixe M eſt incliné à l'objectif, & ſi on rend le miroir mobile N parallele à N, l'horizon H vu par cette double réflexion à travers de la partie A de l'objectif, co-incidera avec celui qui ſera vu directement.

On doit reconnoître aiſément à cette conſtruction l'octant de M. Hadlei. Quand on ne ſe ſert pas de lunette, le miroir fixe M doit être de glace, dont une moitié eſt étamée, parce que ſans cela on ne jugeroit pas parfaitement du contact du ſoleil & de l'horizon, puiſqu'on verroit le ſoleil dans le miroir & l'horizon directement; au lieu qu'en ſe ſervant d'une glace, dont la moitié eſt étamée, l'œil voit directement l'horizon à travers la partie de la glace qui n'eſt pas étamée, en même temps qu'il apperçoit le ſoleil qui eſt réfléchi par cette même partie non étamée de la glace. La partie étamée ne ſert donc que dans le cas où le ſoleil a perdu de ſon éclat par un nuage ou par quelque autre cauſe.

On avoit trouvé dans les commencemens de la difficulté à adapter une lunette à l'octant de M. Hadlei; car en employant des miroirs de glace, ces miroirs produiſent deux réflexions, ſi le

parallélisme entre leurs surfaces n'est pas parfait, & on voit alors deux images qui anticipent l'une sur l'autre. Pour éviter cet inconvénient, sans se servir de miroirs de métal, qui se ternissent facilement à la mer par l'âcreté de l'acide marin, M. de Fouchi imagina de substituer aux miroirs plans de glace des miroirs sphériques de glace: par-là il évita l'embarras des réflexions causées par les deux surfaces de chaque miroir; car la vision n'étoit distincte que dans la réflexion qui se faisoit par l'étain, en sorte qu'on ne pouvoit s'y méprendre. On n'a point à craindre de défigurer les objets, en inclinant des miroirs plans; mais il n'en est pas de même des miroirs sphériques; les objets s'y voyent rétrecis à raison de leur obliquité: M. de Fouchi a levé cet obstacle, qui paroissoit difficile à surmonter, par une idée très-ingénieuse. Si l'objet se trouve dilaté dans le sens de sa largeur, il donne un moyen très-simple de le dilater de la même quantité dans le sens de sa longueur; ce qui rétablit l'objet dans sa forme naturelle. Il me semble que ce que je viens de dire sur les instrumens qui peuvent servir utilement à la mer à la mesure des angles, suffit pour prouver

que ma théorie les comprend tous ſans exception, & que même, en ſuivant cette voie, on auroit pu les imaginer par des conſidérations qui ſe préſentent naturellement, lorſqu'on approfondit leur conſtruction ; car on y voit naître les inſtrumens les uns des autres, en cherchant à éviter les inconvéniens qui ſe rencontrent dans chaque conſtruction particulière. Je crois même pouvoir avancer qu'il eſt difficile de trouver un inſtrument propre aux uſages de la navigation, qui ne puiſſe ſe déduire avec beaucoup de facilité de la théorie que je viens d'expoſer ; & ſi je n'ai pas entré dans un plus grand détail, c'eſt que je l'ai cru inutile, l'objet principal que je me propoſois n'étant pas de faire d'amples deſcriptions de chaque inſtrument qu'on peut imaginer, ni des légères variations dont leurs formes ſont ſuſceptibles, mais bien de les comprendre tous ſous un point de vue général & ſimple.

Je ſens que j'aurois pu prendre encore une autre voie, qui auroit paru un peu plus ſimple, & qui m'auroit conduit au même but ; mais celle-ci m'a ſemblé plus naturelle.

Voici une autre raiſon qui m'a déterminé à

à éviter des descriptions détaillées de chaque instrument en particulier. Les instrumens doivent avoir une construction relative aux usages auxquels on les destine ; ainsi l'octant de M. Hadlei, qui sert merveilleusement à la mer à prendre la hauteur du soleil au dessus de l'horizon, ne peut pas être employé avec le même avantage à la mesure des distances d'étoiles à la lune.

L'héliomètre de M. Bouguer ne peut pas, au contraire, servir à prendre la hauteur du soleil au dessus de l'horizon, mais il mesure avec une extrême précision les petites distances d'étoiles à la lune. Essayons de fixer par notre théorie l'instrument le plus propre aux observations de distances d'étoiles à la lune, pour la détermination des longitudes sur mer.

Il faut d'abord faire attention à toutes les conditions qui peuvent contribuer à rendre une observation de ce genre aussi bonne qu'il se puisse.

Je remarque, 1°. qu'on détermine la longitude par le moyen de la lune, avec d'autant plus de précision, que son mouvement est plus rapide, & qu'ainsi on ne sauroit mesurer avec trop d'exactitude la distance de l'étoile à la lune.

2°. La vivacité de la lumière de la lune efface en partie celle des étoiles; il faut donc ou se borner à ne prendre que des étoiles très-brillantes, ou bien, ce qui vaut peut-être mieux, affoiblir la lumière de la lune, sans diminuer celle de l'étoile.

3°. On ne peut pas employer avec une exactitude suffisante des distances d'étoiles à la lune, moindres que 10°; & dans les Almanachs nautiques, que la Commission des longitudes établie en Angleterre a fait publier en 1767 & 1768, on ne trouve pas même une seule distance de 10°: d'ailleurs, plus les distances d'étoiles à la lune sont petites, plus on est contraint de ne prendre que des étoiles qui sont dans le sens du mouvement le plus rapide de la lune; ce qui rend les observations & moins fréquentes & moins précises. On doit donc préférer à tous égards les grandes distances, & dès-lors on n'est plus assujetti à choisir une étoile qui soit exactement dans le cours du mouvement de la lune: ce qui rend les observations très-fréquentes.

4°. Il n'est pas aussi essentiel, ni aussi difficile de tenir l'instrument dans le plan des deux astres, que si on mesuroit de petits arcs. De plus, pour mettre commo-

dément à la mer l'inſtrument dans le plan de l'étoile & de la lune, j'ai remarqué que la lunette ne doit pas amplifier beaucoup les diamètres des objets.

Cela poſé, voici un inſtrument que je me ſuis efforcé de rendre conforme aux remarques que je viens de faire. Nous l'aurions nommé *Mégamètre*, ſi M. de Charnieres, Lieutenant des Vaiſſeaux du Roi, n'avoit pas déjà donné ce nom à l'héliomètre de M. Bouguer, auquel il a fait meſurer des angles de 10°, qui eſt, comme nous l'avons prouvé, ſa plus grande extenſion. Afin de le diſtinguer de cet héliomètre, avec lequel il n'a qu'un rapport éloigné, nous croyons pouvoir le nommer *Mégamètre à réflexion.*

Le mégamètre à réflexion tient autant de l'octant que de l'héliomètre. On peut s'en former une idée aſſez exacte, en ſe repréſentant un octant d'un rayon de deux pieds, dont il ne faut conſerver qu'un limbe de 10° d'amplitude, une alidade mobile par une vis de rappel & un grand miroir qui doit être de métal, & faire un angle de 30 ou 40°, avec le prolongement de la ligne de foi. On prendra enſuite deux objectifs de quinze à dix-huit pouces de foyer : peu importe qu'il

y ait quelque différence dans leurs longueurs focales ; mais il eſt intéreſſant qu'à huit pouces d'un des objectifs il y ait un ou deux verres plans colorés, pour affoiblir la lumiere de la lune. Ces verres colorés ſeront placés entre l'objectif & l'oculaire ; ce qui produira le même effet que ſi on ſe ſervoit d'un objectif coloré : c'eſt pourquoi nous appellerons cet objectif *coloré*, pour le diſtinguer des autres.

On adaptera avec des vis ſur une plaque de cuivre, ces deux objectifs à côté & très-près l'un de l'autre ; on attachera cette platine ſur l'octant, de manière que le verre coloré réponde au miroir de métal ; on regardera le contact des images au foyer des objectifs avec un oculaire d'un long foyer ; car, pourvu que cet inſtrument amplifie ſix à huit fois les objets en diamètre, il aura une exactitude ſuffiſante, & ſon uſage en ſera plus facile que ſi on le faiſoit amplifier davantage.

Quand on voudra ſe ſervir de cet inſtrument pour prendre la diſtance d'une étoile à la lune, on regardera la lune par l'objectif coloré, dont la lumière eſt encore affoiblie & détournée par le miroir de métal, & l'étoile par l'autre objectif qui n'en altère nullement l'éclat. Si

l'inclinaiſon du miroir & la diſtance entre les objectifs ne permettent pas de meſurer un angle moindre que 60°, il eſt clair que, le limbe comprenant un arc de 10°, on pourra meſurer des angles depuis 60° juſqu'à 80°. On remarquera auſſi qu'il eſt plus commode que la graduation & l'alidade ſe trouvent du côté oppoſé au miroir, aux objectifs & à l'oculaire ; d'ailleurs l'ojectif qui ſert pour l'étoile, doit pouvoir s'écarter de l'objectif coloré, d'un degré, par le moyen d'une vis, comme dans l'héliomètre, afin qu'on puiſſe avoir commodément & exactement les minutes & demi-minutes.

Quant à la vérification de l'inſtrument, on peut ſe ſervir de la diſtance de deux étoiles ; & pour cet effet il faut ôter le verre coloré, ou bien mettre un autre objectif & un miroir fixe incliné d'environ 30°, qui ne doit ſervir que lorſqu'on veut vérifier la poſition du miroir mobile.

De retour de mon premier voyage en 1770, je repris les recherches dont je viens de rendre compte, & je lus le Mémoire ſuivant.

DESCRIPTION d'un moyen de rendre le quartier de réflexion de M. HADLEI susceptible de mesurer les angles compris depuis zero jusqu'à cent quatre-vingt degrés.

IL semble, par les différens essais faits jusqu'à ce jour, que les distances de la lune au soleil ou aux étoiles, prises avec un quartier de réflexion bien fait, donnent la longitude à la mer avec une précision presque suffisante pour les usages de la navigation.

Les Anglois ont si vivement senti les avantages de ces observations, qu'ils ont perfectionné l'instrument qui sert à les faire, & simplifié, par le moyen d'un Almanach nautique, les calculs par lesquels on déduit d'une distance observée la longitude du lieu où l'on se trouve lors de l'observation. Il me paroît qu'on prend avec le quartier de réflexion la distance de la lune au soleil avec beaucoup plus d'exactitude que la distance de la lune à une étoile. Dans le grand nombre d'observations de ce genre que j'ai eu lieu de

faire à la mer, les diſtances de la lune aux étoiles m'ont rarement donné des réſultats ſatisfaiſans.

Il n'en a point été de même des diſtances de la lune au ſoleil ; elles m'ont conſtamment donné la longitude avec plus de préciſion que je ne devois naturellement l'eſpérer : mais malheureuſement ces obſervations ne ſont point fort fréquentes, puiſqu'on ne peut pas les faire avec un quartier de réflexion ordinaire, lorſque la diſtance de la lune au ſoleil eſt moindre que trente degrés & plus grande que quatre-vingt-dix degrés. On eſt conſéquemment quatorze jours de ſuite ſans pouvoir prendre ces diſtances, quoique la vivacité de la lumière de la lune rende dans ces temps-là ces obſervations plus faciles.

On ne peut lever cet obſtacle qu'en rendant le quartier de réflexion ſuſceptible de meſurer les angles compris depuis zero juſqu'à cent quatre-vingt degrés : l'expédient que j'ai imaginé pour cela ne conſiſte que dans une lunette d'une conſtruction particulière que j'adapte à un quartier de réflexion. Cette lunette a la propriété de réunir deux objets diamétralement oppoſés. La figure 21 la repré-

ſente. Elle eſt compoſée de deux objectifs A & B, dont le diamètre eſt d'un pouce, & la diſtance focale eſt d'environ cinq pouces. L'intervalle qui ſépare les deux objectifs eſt de ſept à huit pouces; ils ſont poſés aux extrêmités d'un tuyau de cuivre bien cylindrique AB, au milieu duquel eſt un priſme de métal P*drg*, dont les deux faces *d* & *g* ſont deux miroirs plans formant un angle *drg* d'environ cent degrés. Au milieu du tuyau AB, & vis-à-vis des miroirs, eſt attaché un petit tuyau FH qui porte l'oculaire *m* & le trou de l'œil.

L'inſpection ſeule de la figure fait voir la marche des rayons de lumière dans cette lunette, & comment on réunit deux objets diamétralement oppoſés. Je ſuppoſe que la lune & le ſoleil ſoient dans ce cas-là, il eſt évident que les rayons du ſoleil S tombant ſur l'objectif A, formeroient, à cinq pouces de diſtance, une peinture de cet aſtre; mais le petit miroir *g* qui eſt incliné d'environ cinquante degrés avec l'axe de la lunette, renvoie cette peinture en K. Il en eſt de même des rayons de la lune L; ils ſont refractés par l'objectif B, & réfléchis au point K par le petit miroir *d*,

La construction d'une pareille lunette n'est ni dispendieuse, ni d'une difficile exécution : on ne peut l'adapter à un quartier de réflexion, & elle a alors l'avantage de pouvoir être facilement vérifiée.

On pourroit aussi, sans inconvénient, se servir des deux yeux : en ce cas il faudroit deux petits tuyaux parallèles, & deux oculaires, & l'angle *grd* que feroient entre eux les petits miroirs, ne seroit plus que 90°.

J'avois imaginé (*fig.* 22.) une autre lunette qui produisoit le même effet ; mais sa construction est beaucoup plus difficile.

Elle est composée d'un objectif A, dont le foyer est réfléchi par un petit miroir plat de métal R & K, & d'un miroir concave BB, dont le foyer est aussi réfléchi par le miroir R en K. Les deux objets S & L, qui sont diamétralement opposés, sont conséquemment réunis en K, & apperçus par l'œil placé en O qui les regarde à travers l'oculaire *m*. Il est si aisé de voir que ces lunettes adaptées au quartier de réflexion lui font mesurer des angles depuis zero jusqu'à cent quatre-vingt degrés, que je crois pouvoir me dispenser d'entrer sur ce sujet dans des détails qui

feroient abfolument inutiles aux perfonnes qui connoiffent la conftruction du quartier de réflexion.

Lue à l'Académie Royale des Sciences, ce 5 Décembre 1770.

Ces différens Mémoires fur la mefure des angles, prouvent que dès l'année 1766 je me fuis occupé de fubftituer aux miroirs des prifmes achromatiques. Mais deux voyages aux Indes & un voyage à la côte d'Afrique, fait par ordre du Roi, ne me permirent pas de fuivre, comme je l'aurois defiré, cet objet, dont je fentois dès-lors tout l'avantage; ce n'eft qu'en 1774, époque de mon retour en France, que j'ai pu reprendre ce travail.

J'avois, dès l'année 1770, mefuré la réfraction du cryftal de Madagafcar, & conftruit un objectif de cette matiere qui produifoit un affez bon effet, j'en rendis compte à l'Académie dans un Mémoire qui a pour titre: *Relation d'un Voyage aux Indes Orientales*, où je m'exprime ainfi:

J'ai trouvé dans la partie du Nord de l'Ifle de Madagafcar, près la rivière de Manaharre, fituée à l'entrée de la Baye d'Antongil, des cryftaux de roche de

forme & de nature différente. Celui qui est le plus blanc & le plus transparent ne paroît pas affecter de forme régulière ; c'est par cette raison que les Naturalistes l'ont nommé *quartzs transparens*. J'ai fait tailler un prisme & un objectif de ce crystal, afin d'en pouvoir mesurer la réfraction moyenne & la dispersion des rayons colorés ; j'ai commencé par examiner s'il étoit d'une égale densité , en employant les méthodes connues , pour s'assûrer de la bonté des verres destinés aux usages dioptriques. J'ai reconnu qu'à peine les meilleures glaces pouvoient soutenir la comparaison avec ce crystal ; ainsi il y a tout lieu d'espérer qu'on pourra s'en servir avantageusement dans la construction des objectifs achromatiques.

Ce crystal donne une réfraction moyenne à peu près égale à celle du verre de France , car le rayon de courbure de l'objectif , plan convexe que j'ai fait construire , est de 332 lignes , sa distance focale de 414 lignes , d'où on déduit le rapport de réfraction de 100 à 156. Quant à la dispersion, le temps ne m'a point permis d'en fixer encore le rapport.

M. le Comte de Buffon , qui s'est beaucoup occupé de la formation des crystaux

de roche, ne trouvant aucun indice de double réfraction dans les Essais que j'avois faits en 1770 sur celui de Madagascar, crut que ce crystal étoit d'une nature différente des autres crystaux; mais avant de se décider, ce célèbre Académicien m'engagea à reprendre mon travail sur cette substance, & me recommanda d'examiner sur-tout si ce crystal étoit totalement privé de la singulière propriété qu'ont les autres crystaux, de faire paroître les objets doubles.

La double réfraction, si l'on excepte celle qui est si sensible dans une espèce de spath calcaire, connu sous le nom de *crystal d'Islande*, a peu occupé les Physiciens; on ne connoissoit pas l'art de la rendre assez forte dans le crystal de roche pour la soumettre aux mêmes observations que celles faites par Newton & Huygens sur celui d'Islande. D'ailleurs cette propriété si singulière avoit fait exclure les crystaux de roche, malgré leur transparence & leur dureté, de la construction des principaux instrumens d'optique, & par-là avoit cessé d'intéresser les Opticiens. Cependant dans ces derniers temps le Pere Beccaria publia, en Italien, un Mémoire très-curieux sur ce sujet, & nous

croyons que les recherches dont nous avons à rendre compte, exigent que nous rapportions mot pour mot la traduction qui en a été faite dans le *Journal de Physique de l'année* 1772, *tome II, seconde Partie.*

Le célèbre Huygens (*dans son Traité de la lumière*, *Chap. V*), dit le Pere Beccaria, parle fort au long de la réfraction admirable du cryſtal d'Iſlande ; il parle auſſi, par occaſion, de la réfraction du cryſtal de roche, qui ne me paroît pas moins étonnante que celle du cryſtal d'Iſlande.

La réfraction, dit cet Auteur, eſt double dans le cryſtal de roche comme dans le cryſtal d'Iſlande, mais elle y eſt moins ſenſible. En effet, ajoute-t-il, j'ai fait tailler pluſieurs morceaux de ce cryſtal en forme de priſmes ſous des angles différens ; j'ai regardé à travers ces priſmes la lumière d'une bougie ou le plomb d'un vitrage, & je me ſuis apperçu que ces objets paroiſſoient doubles, quoique leurs images ne fuſſent ſéparées que par un intervalle aſſez petit.

Je voyois (dit le Pere Beccaria) que la réfraction que M. Huygens appelle irrégulière, a dans le cryſtal d'Iſlande un rap-

port conſtant avec ſa ſtructure intérieure; car l'effet de cette réfraction eſt de plier les rayons dans le ſens des angles ſaillans. Or ces angles ſont les mêmes dans chacune des parties qui le compoſent, que dans le morceau entier.

Sur l'inſpection de la figure du cryſtal de roche, je conjecturois quelle pouvoit être ſa ſtructure intérieure. En effet, je regardois ce corps comme une eſpèce de cryſtalliſation naturelle, différente des cryſtalliſations artificielles, par la propriété de réſiſter à l'humidité, mais qui d'ailleurs devoit leur reſſembler entièrement par la ſtructure interne. Or, en examinant pluſieurs cryſtalliſations artificielles, j'avois obſervé qu'elles n'étoient que le réſultat d'un amas de petites lames parallèles aux faces de la cryſtalliſation, ce qui me faiſoit ſoupçonner que la conformation du cryſtal de roche pouvoit bien n'être que la même choſe, en ſorte que je conſidérois, par exemple, un priſme héxagone (qui ſe termine ordinairement par une pyramide hexagone) comme un amas de petites lames rangées autour de l'axe dans un ordre hexagonal, diſpoſées régulièrement autour de cet axe, placées les unes ſur les autres, & croiſſant

ſucceſſivement en largeur dans la proportion néceſſaire pour compoſer la forme géométrique de ce ſolide.

J'étois encore confirmé dans ma conjecture par les iris qui ſont dans l'intérieur de quelques cryſtaux ; ces couleurs ſont ſemblables à celles de deux lames, ſéparées par un milieu très-ſubtil : ces iris m'ont paru dans un plan parallèle à quelqu'une des faces du cryſtal ; d'où je concluois que les petites lames qui tranſmettoient ces couleurs, étoient auſſi parallèles à cette même face.

Je ſoupçonnai d'inexactitude l'aſſertion d'Huygens, lorſqu'il affirme qu'il avoit toujours trouvé une double réfraction dans les priſmes de cryſtal de roche, quelles que fuſſent leurs ſections. Je pris donc le parti d'examiner la choſe d'après mes obſervations particulières.

Je fis couper un morceau de cryſtal de roche d'une figure très-régulière dans la longueur de l'axe, de manière que la ſection partageât en partie égales deux des faces oppoſées.

J'en fis couper une autre, également dans la longueur de l'axe, mais en faiſant paſſer la ſection par le ſommet des deux angles oppoſés.

Un troisième me fournit des prismes triangulaires, dont une des faces étoient une des faces même du morceau ; chacune des deux autres résultoit d'une section terminée à l'axe d'un côté, de l'autre, à un des angles adjacens, & conduite dans la longueur du crystal.

Une quatrième fut partagé en prismes triangulaires équilatoires, dans lesquels deux des faces étoient également inclinées à l'axe, & la troisième étoit parallèle à un plan qui auroit passé dans la longueur de cet axe.

J'ai fait tailler d'autres morceaux en prismes de plusieurs autres manières ; mais le prisme qui m'a rendu plus sensible le rapport de la double réfraction avec la structure intérieure du crystal, est une coupe telle qu'une des faces du prisme étoit formé par une section perpendiculaire à l'axe, & les deux autres par deux sections, qui partant des deux faces opposées du crystal, alloient se rencontrer dans une ligne perpendiculaire à l'axe.

Les observations que je fis avec ces différens prismes (ajoute le Pere Beccaria) me fournirent enfin cette loi très-simple, dont Newton ne parle pas, & dont Huygens assûre précisément le contraire : sa-

voir

voir, 1°. *que la réfraction dans le cryſtal de roche n'eſt pas toujours dans les différens priſmes qu'on peut en retirer, ſuivant les différentes manières de les couper.*

2°. *Que le rayon de lumiere qui traverſe le cryſtal de roche dans un plan perpendiculaire à l'axe, ſouffre deux réfractions, ſe partage en deux, & offre deux images, ſinon entièrement, du moins ſenſiblement diſtinctes.*

3°. *Que cette diſtinction des deux images diminue à meſure que la route du rayon converge plus vers l'axe du cryſtal.*

4°. *Que la double réfraction & la diſtinction des deux images ceſſent entièrement d'avoir lieu lorſque la route du rayon devient parallèle ou à peu près parallèle à l'axe; alors l'œil n'apperçoit plus qu'une ſeule image.*

Voilà donc, ſi je ne me trompe, quelque rapport découvert entre la réfraction de la lumière dans le cryſtal de roche & ſa conformation intérieure ; ſi la route du rayon eſt à très-peu près parallèle à l'axe, elle ſe dirige à très-peu près dans le ſens de la longueur des petites lames qui compoſent le priſme. Au contraire, ſi les rayons ſont dirigés dans un plan preſque perpendiculaire à l'axe, ils tra-

verſent les plans des petites lames ſur la même obliquité. L'unité & la double réfraction ont donc un rapport manifeſte avec la route que tient le rayon, ſoit que cette route ſoit parallèle aux plans des petites lames, ou qu'elle forme avec eux un angle fort aigu. Je ne dois pas oublier d'avertir ici, que, pour empêcher que la lumière ne ſouffre deux réfractions, il ne ſuffit pas que le rayon ait une direction quelconque dans le ſens des plans des petites lames; il eſt néceſſaire de plus que la direction ſoit dans le ſens de la longueur du cryſtal.

J'ajouterai encore, que, lorſque les rayons qui traverſent le cryſtal de roche avec les conditions preſcrites, offrent l'image unique, cette image eſt toujours moins nette & moins diſtincte dans ſes couleurs, qu'elle ne le ſeroit ſi on regardoit l'objet à travers un bon verre bien homogène.

Il réſulte de ces obſervations deux vérités qui peuvent au moins ſervir à épargner des tentatives inutiles. La première, que ſi on vouloit tailler des lentilles avec le cryſtal de roche pour les divers uſages de l'optique, il faudroit employer des morceaux dont les faces fuſſent parallèles à la baſe du cryſtal, en ſorte que l'axe des

lentilles coincidât, ou au moins fût parallèle à l'axe du cryſtal, & cela pour éviter, autant qu'il ſeroit poſſible, le doublement des points dans l'image des objets. L'autre, qu'il y a peut-être moins d'avantages à eſpérer de la plus grande tranſparence qu'auroient des lentilles faites avec cette matière, que d'inconvéniens à craindre de la petite confuſion des rayons, qu'il ſeroit impoſſible d'éviter dans ces ſortes de lentilles, même en les travaillant avec la précaution que je viens d'indiquer.

Mais outre le cryſtal de roche & le cryſtal d'Iſlande, n'y auroit-il point dans la nature d'autres corps dans leſquels la lumière ſouffrît deux réfractions, ou même davantage dans un ordre conſtant ?

Sgraveſande, en obſervant un priſme équiangle de caillou du Bréſil, a trouvé à chacun des angles une réfraction inégale, à la vérité, mais conſtamment double. Cette variété dans les réfractions, tant par rapport au nombre que par rapport aux autres accidens, ne ſeroit-elle point la route par laquelle la nature paſſe de la tranſparence à l'opacité. Cette conjecture paroît aſſez conforme aux obſervations faites ſur les corps tranſparens qui deviennent opaques, ſoit que ce chan-

gement s'opère naturellement, ou qu'il ne soit dû qu'aux procédés des Arts.

Des recherches ultérieures, faites avec beaucoup d'exactitude sur les différentes loix de la réfraction dans les corps fossiles transparens, soit que cette réfraction soit unique, soit qu'il y en ait deux, ou même davantage, ne pourroient-elles pas nous donner quelques lumières sur la génération même & la structure de ces corps? & lorsqu'on seroit assez instruit sur le rapport des loix de la réfraction dans ces corps avec leur structure, ne pourroit-on pas réciproquement remonter de la connoissance de la structure interne d'un corps à la connoissance des loix de la réfraction que doit subir la lumière, en le traversant? Ne pourrions-nous pas même, par ce moyen, approcher de plus en plus de la connoissance de la cause, si peu connue jusqu'à présent, de la réflexion & de la réfraction de la lumière?

Lorsque je me suis occupé de la double réfraction du crystal de roche, je n'avois aucune connoissance du Mémoire intéressant du Père Beccaria, dont je viens de rapporter les principaux articles. Aussi la route que nous avons suivie l'un & l'autre est-elle très-différente, & n'a pas le

même but. C'eſt l'aſſertion de M. Huygens que le Père Beccaria examine d'une manière particulière, & cet examen lui fait découvrir le ſens dans lequel la double réfraction n'a pas lieu. *Quam autem finxerat* (dit Huygens, tractatus de lumine, pag. 46) *duplicem luminis emanationem ea probabilior mihi viſa eſt poſt certum phænomenon cryſtalli vulgaris quod cum forma hexagona creſcat ; videtur quoque conſtare particulis certæ figuræ & certo ordine diſpoſitis ; illud autem erat quod in illa etiam cryſtallo duplex eſſet refractio ut in cryſtallo Iſlandica quanquam evidens minùs. Et enim cum plura fruſtrà mihi curaſſem in ſpeciem priſmatum læviſſimorum, idque per diverſas ſectiones obſervari in ſingulis per quæ aut candelæ flammam, aut plumbum vitrorum in feneſtris cònſpiciebam, omnia videri duplicia, quanquam imagines paululùm tantùm à ſe invicem diſtabant.*

Unde perſpexi cur corpus illud adeò pellucidum adeò inutile eſt in teleſcopiis paulò longioribus.

Quoique la forme priſmatique ait fait connoître à Huygens que le cryſtal de roche jouiſſoit, ainſi que le cryſtal d'Iſlande, de la propriété de doubler les

images des objets, il étoit encore nécessaire, pour faire sur ce sujet des observations intéressantes, de corriger par un prisme opposé de verre de France les couleurs qui naissent de la forme prismatique du crystal de roche ; car sans cet achromatisme les images paroissent confuses & mal terminées, & il me paroît même très-difficile de fixer sans cette précaution le véritable sens dans lequel le crystal de roche doit être taillé pour servir comme le verre aux instrumens d'optique. Je nommerai dans la suite l'union de ces deux prismes, *milieu achromatique doublement refringent.*

Ce fut le 25 Janvier 1777 que je rendis compte à l'Académie de cette construction, comme on peut le voir par l'Extrait des Registres qui se trouve à la fin de cet Ouvrage. Je fis voir en même temps qu'on pouvoit se servir de cette singulière propriété pour mesurer de petits angles. Ainsi cet effet que Huygens & les Physiciens qui l'ont suivi regardoient comme un défaut qui devoit exclure à jamais cette substance de la construction des instrumens d'optique, étoit, dans le fait, une propriété infiniment utile pour donner la mesure des petits angles avec un degré de précision auquel il paroissoit impossible de pouvoir atteindre.

Jamais, je l'avoue, je n'ai reſſenti de plaiſir plus vif que lorſque j'entrevis l'uſage que je pouvois faire de cette étonnante propriété. Ce qui me flattoit le plus, c'eſt que le haſard, qui a ſouvent conduit aux découvertes les plus utiles, ne m'a été d'aucun ſecours dans cette recherche ; c'eſt l'application du mouvement circulaire que j'avois trouvée à la fin de 1775, qui me ſervit d'abord à faire varier à volonté l'effet de la double réfraction : avant même que l'inſtrument fût conſtruit, je rendis compte à l'Académie de mes vues ſur ce ſujet de la manière ſuivante.

La difficulté de ſe procurer dans la chambre la plus obſcure un ſpectre aſſez vif & aſſez étendu pour diſtinguer les différentes couleurs qui réſultent de la décompoſition de la lumière d'une étoile, me fit imaginer d'employer à cette recherche le téleſcope armé de priſmes de différens angles & de différentes denſités : ce moyen, que j'ai employé avec ſuccès à la détermination préciſe du rapport de diſperſion dans des verres de denſités différentes, peut s'appliquer avec le même avantage aux autres expériences indiquées par Newton ; il m'a paru ſur-tout très-propre à nous faire connoître avec préciſion la double réfraction des

différens cryſtaux de roche ; mais cette recherche m'a conduit à la découverte d'un micromètre objectif, qui m'a paru préſenter des avantages aſſez grands pour devoir en faire part tout de ſuite à l'Académie. Ce micromètre eſt compoſé de deux priſmes de cryſtal de roche de même angle, & par conſéquent dont la double réfraction eſt la même, & dans tous les cas proportionnés à l'angle réfringent des priſmes ; par la poſition reſpective de ces priſmes, on obtient des ſpectres qui s'écartent ou ſe confondent ſelon la ſomme ou la différence de ces angles. Il ne s'agit donc plus que de détruire l'effet qui réſulte de la forme priſmatique de chaque priſme, ſans diminuer cette double réfraction, ſi favorable à la meſure préciſe des angles ; & rien n'eſt plus facile, en appliquant à chaque priſme de cryſtal de roche un priſme de verre de France, qui, comme on ſait, peut dans tous les cas anéantir les couleurs, & par conſéquent la confuſion qui en eſt une ſuite.

Tel fut le premier expoſé du projet que j'avois conçu d'employer la double réfraction à la meſure des angles. Je fis exécuter ſur le champ l'inſtrument, & l'Artiſte me l'apporta à l'Académie, la ſéance qui ſuivit celle du 25 Janvier 1777, dans

laquelle j'avois fait part de mes vues. Je soumis cet instrument à l'examen de l'Académie, même avant de l'avoir éprouvé. On me fit remarquer que le mouvement des deux prismes achromatiques de cryſtal de roche produiſoit quatre images. J'aurois dû avoir prévu cet effet, qui ne laiſſa pas de m'embarraſſer beaucoup dans le moment où l'on me le fit appercevoir; car chaque priſme de cryſtal de roche donnant deux images du même objet, deux priſmes de cette ſubſtance doivent produire quatre images. Il eſt vrai que, lorſque l'effet de l'un détruit celui de l'autre, les quatre images n'en forment plus qu'une, ou ſi les deux priſmes ſont dans le même ſens, on ne voit encore que deux images. C'eſt l'examen particulier de ces deux poſitions des priſmes, qui m'avoit induit en erreur ſur le nombre des images dans toutes les autres poſitions intermédiaires des priſmes compriſes entre ces deux cas. Au reſte, l'écartement entre les images variant par le mouvement circulaire des deux priſmes l'un ſur l'autre, cet inſtrument donnoit toujours la meſure de l'angle, en obſervant de prendre les deux images qui répondoient à cette meſure. Ce choix n'étoit pas fort embarraſſant,

mais il falloit un peu d'attention pour ne pas se tromper. D'ailleurs, chacune des quatre images n'avoit que le quart de la lumière, qui émanoit de l'objet ces défauts ; ce qui me fit chercher une construction plus favorable : je la trouvai peu de jours après la construction de mon premier micromètre. Quelque simple qu'elle puisse paroître, ce ne fut qu'après avoir épuisé un grand nombre de combinaisons, que je vis, par la théorie, qu'en mouvant un prisme achromatique de crystal de roche le long de l'axe d'une lunette, je pouvois encore varier à volonté l'écartement des deux images.

Je rendis compte à l'Académie de cette nouvelle construction, & je demandai des Commissaires pour en voir l'effet sur une lunette à laquelle je l'avois adaptée. Je lus à la Séance du 26 Février 1777 l'écrit suivant, qui a pour titre : *Addition sur un micromètre fait avec du crystal de roche.*

J'ai déjà fait voir que la double réfraction du crystal de roche pouvoit servir à mesurer de petits angles ; mais je n'avois pas imaginé que ce moyen pourroit s'appliquer à toutes espèces de lunettes, quel qu'en soit l'effet, sans altérer en aucune façon la distinction avec laquelle on doit voir

les planètes lorſqu'on veut meſurer leurs diamètres avec la préciſion qu'exige une obſervation auſſi délicate. La conſtruction du premier micromètre de ce genre que je préſentai à l'Académie, avoit quelques défauts auxquels la diſpoſition préſente remédie abſolument.

Ce moyen a d'ailleurs l'avantage d'être beaucoup plus ſimple & moins diſpendieux; il conſiſte en un ſeul priſme de cryſtal de roche combiné avec deux priſmes de verre de France pour détruire les couleurs. On approche ou on éloigne du foyer de l'objectif les priſmes, de manière que les deux images de Jupiter, ou de telle autre planète dont on voudra meſurer le diamètre, ſe touchent : ce contact ſe juge avec une préciſion d'autant plus grande, que les deux images qui ſont égales en force, ſont auſſi bien terminées que s'il n'y avoit pas de priſmes, parce qu'ils ſont très-près de l'oculaire.

Je n'entrerai pas dans le détail des avantages de cette nouvelle conſtruction, & des inconvéniens de la précédente, me propoſant de donner ſur ce ſujet un Mémoire détaillé, lorſqu'un plus grand nombre d'expériences aura fixé le degré de préciſion que peut comporter cet inſtrument.

Les Commiſſaires nommés par l'Académie pour examiner mes recherches, firent le rapport qui ſuit.

EXTRAIT des Regiſtres de l'Académie Royale des Sciences, du 5 Mars 1777.

NOUS avons examiné par ordre de l'Académie, MM. Lemonnier, Leroy & moi, deux Mémoires de M. l'Abbé de Rochon, ſur deux micromètres de ſon invention. Ces deux inſtrumens ſont deſtinés à meſurer, ſoit les diamètres des aſtres, ſoit la diſtance des deux aſtres très voiſins, ou plutôt l'angle ſous lequel ces diamètres ou cette diſtance ſont vus de la terre.

M. l'Abbé de Rochon emploie des priſmes formés avec le cryſtal de roche, qui, comme on ſait, a une double réfraction. Il commence par former avec différens priſmes de ce cryſtal & de verre commun, un priſme compoſé achromatique & à double réfraction.

Il meſure enſuite la quantité de cette double réfraction. Pour cela il place ſon priſme à l'objectif d'une lunette plus

ou moins forte ; il regarde avec cette lunette un objet d'un diamètre donné, & il s'écarte jusqu'à ce que les deux images de cet objet viennent à se séparer. Le rapport entre la distance du foyer de l'objectif de la lunette au centre de l'objet observé, & le diamètre de cet objet, donne l'angle de la double réfraction. La seule incertitude qu'il puisse y avoir dans cette détermination, dépend du point où l'on saisit le contact des deux images ; mais il est aisé de voir qu'en employant des lunettes très-fortes, on pourra déterminer le point de contact avec une très-grande précision.

Cela posé, si on veut mesurer le diamètre d'un objet, on prendra deux prismes achromatiques semblabes, & on les appliquera l'un sur l'autre, de manière que l'un des deux puisse tourner autour de son centre. On voit que par ce moyen ils formeront par leur combinaison un prisme composé qui pourra représenter successivement tous les prismes, depuis celui où la réfraction double est zero jusqu'à celui où elle le double de ce qu'elle étoit dans chacun des deux prismes. Supposons, par exemple, que cette réfraction soit de quinze minutes dans un

prisme simple, si dans le prisme composé le cercle qui porte le prisme mobile marque zero au point où la réfraction double est anéantie, lorsque le cercle marque cent quatre-vingt degrés, la réfraction double sera de trente minutes; ainsi cent quatre-vingt degrés de ce cercle répondront à trente minutes, & le degré répondra à dix secondes. Si donc on regarde, avec la lunette armée de ce prisme composé, un objet dont on veuille chercher le diamètre apparent, on cherchera le point du contact des deux images de cet objet, on observera le nombre de degrés marqués alors sur le cercle qui porte le prisme mobile, & le diamètre de l'objet aura autant de fois dix secondes que ce cercle aura marqué de degrés.

Tel est le premier micromètre proposé par M. l'Abbé de Rochon.

Mais il a observé 1°. que ce micromètre étant placé à l'objectif de la lunette, auroit besoin d'être travaillé avec la même perfection que les objectifs; ce qui peut être un inconvénient dans l'usage commun.

2°. Que si on observe un point avec ce micromètre, on aura une seule image lorsque le cercle qui porte le prisme

mobile marquera zero, deux, lorſqu'il marquera cent quatre-vingt degrés, & quatre dans les points intermédiaires; & qu'ainſi l'obſervation du point du contact exigera beaucoup d'attention pour bien diſtinguer celle des images dont il faut obſerver le point du contact.

3°. Il y auroit dans cet appareil une perte conſidérable de lumière, & l'on ſait que moins il y a de lumière, moins il y a d'exactitude dans l'obſervation du point de contact.

Ces réflexions ont déterminé M. l'Abbé de Rochon à chercher un autre micromètre.

Celui qu'il propoſe eſt formé d'un ſeul priſme; on s'aſſûre d'abord, comme pour le premier micromètre, de la valeur de la double réfraction, le priſme étant placé à l'objectif de la lunette. On l'éloigne enſuite de l'objectif, en le rapprochant de l'oculaire; l'angle de la double réfraction eſt alors à ce qu'il étoit dans la premirèe poſition, comme la diſtance de l'objectif au foyer à la diſtance du priſme au même foyer. Suppoſons, par exemple, la double réfraction de ſept minutes & la diſtance de l'objectif au foyer de trois pieds. Si on rapproche le priſme de la moitié de cette diſtance, l'écartement cauſé par la

double réfraction ne fera plus que de trois minutes & demie, & ainsi de suite. Si donc on veut mesurer le diamètre d'un objet, on rapprochera le prisme jusqu'à ce qu'on observe le point du contact des deux images, & connoissant alors l'angle de réfraction à l'objectif, la distance de l'objectif à son foyer, & la distance du prisme au même foyer, on aura par une simple proportion le diamètre de l'objet. Par exemple, si la double réfraction est de sept minutes, la distance du foyer à l'objectif, trois pieds, la distance du prisme au foyer trois pouces, au point où l'on trouve le contact, le diamètre de l'objet sera trente-cinq secondes; une ligne répond ici à moins d'une seconde, & cet exemple suffit pour juger du degré d'exactitude de l'instrument.

On voit qu'elle dépend primitivement de l'exactitude de la détermination de la double réfraction du prisme dans le premier micromètre. Une seconde d'erreur dans cette détermination en donnoit une seconde, ou même deux dans la mesure du diamètre de l'objet. Dans le second micromètre, une seconde d'erreur dans la première détermination, n'en peut occasionner dans la mesure du diamètre qu'une

beaucoup

beaucoup moindre, & dans le rapport de la diſtance de l'objectif au foyer, avec la diſtance du priſme au foyer. Ainſi dans cet exemple que nous avons choiſi, l'erreur d'une ſeconde n'en produiroit qu'une d'un douzième de ſeconde.

Ce nouveau micromètre a un autre avantage, c'eſt qu'étant placé près de l'oculaire, les priſmes n'ont pas beſoin d'être travaillés avec la même perfection que pour le premier micromètre. La perte de lumière qu'il occaſionne eſt auſſi beaucoup moindre.

Ces deux micromètres nous paroiſſent très-ingénieux, & fondés ſur des principes abſolument neufs. Le ſecond ſur-tout ſera très-propre à meſurer avec la plus grande préciſion des angles très-petits. La théorie ne nous a paru fournir aucune objection contre l'exactitude de cet inſtrument. Les eſſais qu'en a faits M. l'Abbé Rochon, paroiſſent confirmer la théorie. Nous croyons qu'on ne ſauroit trop exhorter M. l'Abbé Rochon à faire exécuter en grand ſon nouveau micromètre, dont on peut eſpérer de tirer une très-grande utilité dans un très-grand nombre d'obſervations aſtronomiques fort délicates. La pratique ſeule peut apprendre juſqu'à quel point l'uſage en ſera commode, &

s'il ſera facile de lui donner toute l'exactitude que fait eſpérer la théorie; mais nous croyons qu'en attendant, l'Académie doit mettre le Public à portée de profiter des excellentes vûes que renferment les deux Mémoires de M. l'Abbé Rochon.

Signé LE ROY, LE MONNIER, & le Marquis DE CONDORCET.

Je certifie le préſent Extrait conforme à ſon original & au jugement de l'Académie, le 6 Mars 1777. Le Marquis DE CONDORCET.

JE n'ai rapporté ces premiers Eſſais ſur la meſure des angles, que pour faire voir la marche que j'ai ſuivie dès les premiers temps que je me ſuis occupé de cet objet. Je m'écarterois du but que je me ſuis propoſé, ſi je m'arrêtois à diſcuter les anciennes conſtructions dont j'ai rendu compte. Je n'ignore pas que toutes celles où j'ai fait uſage d'un ſeul miroir, pour donner à la lumière une direction déterminée, ſont en cela même défectueuſes. En effet, ſoit (*fig.* 23.) L la lune, & E une étoile, dont les images coïncident au foyer O de l'objectif AB par le moyen du miroir D, qui fait prendre aux rayons

LD la direction convenable à cette réunion; l'œil, armé de l'oculaire N, jugera le contact, & rendra très-sensible la séparation des deux images occasionnées par le seul mouvement imprimé à l'instrument. Si, par exemple, ce mouvement est d'une minute, l'étoile E, au lieu de rester en O au milieu du champ de la lunette, se portera en *q* à une minute de ce point, & l'image L de la lune, dont la direction a été changée par le miroir D & projetée d'abord en O, ne se rendra pas au point *q*, par le mouvement donné à l'instrument, parce que l'inclinaison d'une minute dans le miroir, produit un déplacement de deux minutes dans l'image: ainsi l'image de la lune ne coïncidera plus avec celle de l'étoile, & leur écart *q r* sera d'une minute. Or, cette construction ne produit pas l'effet désiré, & prouve la nécessité d'employer deux miroirs pour donner à la lumière une direction constante comme dans le quartier de réflexion de M. Hadlei, instrument qui vient d'acquérir, par les soins & les recherches de M. le Chevalier de Borda, Capitaine des vaisseaux du Roi, & Membre de l'Académie des Sciences, un très-grand degré de perfection.

On voit par cet exposé, que, dès l'année 1767, j'avois proposé de rendre l'héliomètre de M. Bouguer, susceptible de mesurer des angles plus grands, en adaptant devant les objectifs des prismes achromatiques. J'avois alors quelques difficultés à rendre les prismes assez achromatiques, pour servir devant une lunette, à la mesure précise des angles : c'est en méditant sur les moyens employés par Newton & par M. Clairaut, pour déterminer la dispersion qui a lieu dans les différentes substances, que je conçus l'idée des prismes à angles variables, par le mouvement circulaire de deux prismes l'un sur l'autre.

J'ai déjà traité, *page* 107, de ces prismes, dans la description d'un instrument destiné à donner le rapport de dispersion, & que j'ai nommé pour cette raison *diasporamètre*; par conséquent, si on joint à ce moyen de rendre les prismes susceptibles de variations par le mouvement circulaire, mes anciennes recherches sur la mesure des angles par des prismes achromatiques, imprimées en 1768, on sera forcé de convenir qu'au commencement de l'année 1776, j'avois trouvé tout ce qui étoit essentiel à la mesure précise des angles par des prismes de verre. La

découverte du mouvement circulaire m'a encore procuré un moyen facile de connoître avec précision & célérité la dispersion d'un grand nombre de substances transparentes, tant solides que fluides, & de faire, avec différentes substances, des prismes parfaitement achromatiques. Cette méthode a encore l'avantage de donner la mesure des angles avec beaucoup plus de précision que l'écart des objectifs; aussi dès que j'eus connus par expérience l'effet de la double réfraction des cristaux de roche & d'Islande, j'employai le mouvement circulaire pour varier à volonté l'effet de la double réfraction; je composai un micromètre d'un genre absolument nouveau, pour prendre avec exactitude le diamètre des planetes, & généralement tous les petits angles. Cette construction, dont j'ai déjà rendu compte, avoit le défaut de donner quatre images d'un même objet, ce qui m'obligeoit à diminuer le pouvoir amplifiant de la lunette, pour me procurer le degré convenable de lumière; car les vérifications qui dépendent de la multiplication des images & de la propriété du cercle, peuvent compenser l'embarras causé par le choix des images. Cependant ce défaut me fit

chercher une nouvelle construction. Je vis, après quelques combinaisons, qu'en faisant mouvoir en ligne droite, le long de l'axe d'une lunette, un prisme achromatique de cristal de roche, je variois également l'effet de la double réfraction. Je perdois à la vérité, par cette seconde construction, quelques avantages attachés à la première. Je n'avois plus d'échelle de longueur illimitée; je me privois des vérifications qui dépendent de la quadruple image, & de la propriété du cercle; je n'étois plus garanti de l'effet de la parallaxe optique. Mais dans la mesure des petits angles, tous ces avantages ne sont d'aucune importance; car l'échelle donnée par la longueur foyale de l'objectif, excède celle qui auroit pour limite le degré d'incertitude avec lequel on juge le point de contact. Les vérifications sont aussi peu importantes, parce que la figure des prismes est invariable. Enfin, la parallaxe optique est infiniment petite dans la mesure de petits angles.

Ainsi, lorsqu'on se sert de substances qui ont la double réfraction, la seconde construction est préférable à la première, non seulement parce qu'elle ne donne que deux images d'un même objet, mais encore

parce que le degré de précision avec lequel on mesure de petits angles, peut être aussi grand que le jugement du point de contact le comporte, en observant de tenir le prisme le plus près qu'il est possible du foyer.

Pour faire sentir plus fortement ce dernier avantage, qui n'a lieu que pour les substances qui jouissent de la singulière propriété d'une double réfraction, je vais transcrire ici l'observation que j'ai rapportée à la page VI des Extraits des Registres de l'Académie.

Le 5 Avril 1777, le temps étant clair & serein, j'observai Mars à huit heures du soir, par ma lunette achromatique de sept pieds, à triple objectif, armée de ce micromètre. Les deux images de cette planete étoient bien terminées ; les taches qu'on remarque quelquefois sur son disque étoient très-distinctes, & les deux disques avoient une égale densité de lumière. Je jugeai le contact précis des deux images de cette planete, lorsque le micromètre fut écarté du foyer de l'objectif, de 33 lignes & demi, d'où je conclus le diamètre de cette planete de 16'', 2 par cette seule proportion, 1030 lignes, distance foyale de l'objectif, est à 8' 18'' angle constant de la

double réfraction, comme 33, 5 lignes distance du micromètre au foyer, est au diamètre de Mars.

Il est à remarquer que l'erreur d'une seconde dans la mesure absolue de la double réfraction, c'est-à-dire dans l'angle de 8' 16'' du micromètre, ne produiroit pas, dans la mesure du diamètre de Mars, par exemple, une erreur de deux tierces. Ainsi il y a moins d'erreur dans cet instrument, & les divisions sont plus sensibles que celles d'un secteur de cinq cents toises, car celle qui provient de l'incertitude du point de contact dépend absolument de la force de la lunette.

Plus ce micromètre sera près du foyer, & on sera toujours maître de cette condition par un assortiment de prismes de différens angles, moins il exigera de perfection, & plus il aura de précision.

J'ai fait un grand nombre d'expériences avec ce micromètre; il m'a donné la mesure des petits angles avec un tel degré de précision, qu'il a toujours surpassé, dans tous les cas, les limites qui dépendent du pouvoir amplifiant des plus fortes lunettes. Je n'ai pas borné ses usages à prendre dans le ciel de petits angles, tels que les diamètres des planetes & les distances d'étoiles à

étoiles, &c. j'en ai fait uſage ſur terre, pour déterminer, par des opérations faciles & promptes, la diſtance & la grandeur des objets. Afin de ſimplifier la pratique de ces opérations, & de diſpenſer les Militaires & les Marins de tout calcul, j'ai dreſſé une Table, page XXXII, qui fait connoître le rapport qu'il y a entre la diſtance & la grandeur d'un objet, dans l'hypothèſe que le triangle eſt à peu près rectangle, parce qu'il eſt toujours aſſez facile de choiſir des objets qui rempliſſent à peu près cette condition.

Voici les trois ſuppoſitions qui peuvent avoir lieu lorſqu'on opère avec cet inſtrument : 1°. *la grandeur d'un objet étant donnée, déterminer ſa diſtance*; 2°. *la diſtance d'un objet étant donnée, déterminer ſa grandeur*; 3°. *la grandeur & la diſtance de l'objet étant abſolument inconnues, déterminer & ſa grandeur & ſa diſtance.*

Première ſuppoſition. *Lorſque la grandeur de l'objet eſt connue, déterminer ſa diſtance.*

Je meſure avec la lunette, armée de ce micromètre, l'angle qu'il fait par rapport à l'œil. En mettant en contact les deux images que les priſmes me donnent de cet objet, je trouve, par exemple, cet angle

de 15′, le nombre eſt 229; d'où je conclus que la diſtance eſt 229 fois la grandeur de l'objet : ainſi la grandeur de l'objet étant, dans ce cas, connue, on détermine avec promptitude la diſtance. Suppoſons que cet objet ſoit un homme, on ſait que la hauteur moyenne de l'homme eſt de cinq pieds deux pouces; ſa diſtance ſera donc de 1183 pieds deux pouces.

On ne peut pas ſans doute ſe flatter, par une évaluation auſſi incertaine, d'obtenir la diſtance avec un grand degré de préciſion; mais il eſt beaucoup de cas où cette préciſion n'eſt pas d'une grande importance; car, ſi l'on voit pluſieurs hommes aſſemblées, & que dans l'évaluation de leurs hauteurs moyennes on ſe trompe d'un pouce, l'erreur qui en réſultera ne ſera que de la ſoixante & deuxième partie de la diſtance abſolue. La grandeur des moulins, qui ont des dimenſions à peu près conſtantes, ainſi que certains autres objets dont les dimenſions ſont connues, m'ont ſouvent ſervi à déterminer des diſtances conſidérables & inacceſſibles avec une célérité ſurprenante, par le moyen d'une lunette portative, armée de ce micromètre, qui n'a beſoin d'aucun ſupport ſtable pour prendre les angles avec préciſion; mais lorſqu'il

m'eſt utile d'avoir les diſtances avec plus de préciſion, j'ai le ſoin d'employer un objet dont la grandeur eſt exactement déterminée, & placé perpendiculairement à l'axe de la lunette. Or, dans ce cas, ſi la grandeur de l'objet eſt exactement d'une toiſe, ſa diſtance ſera de 229 toiſes. Nous avons prouvé, par l'invariabilité de la double réfraction, & la longueur de l'échelle, qu'il ne pouvoit y avoir d'incertitude que celle qui provient de l'eſtimation du point de contact, & cette eſtimation tient abſolument au pouvoir amplifiant de la lunette : ainſi il faut que la lunette ſoit bien petite, pour que, par des obſervations répétées, cette incertitude ſoit d'une ſeconde. Or une ſeconde d'incertitude pour un angle de 15 minutes, ne produit, dans l'évaluation de la diſtance, qu'une incertitude d'environ un pied. Mais ſi le triangle n'étoit pas rectangle, & que l'objet, au lieu de faire un angle de 90° avec l'axe de la lunette, fît un angle de 80 ou de 100°, l'erreur qui réſulteroit de cette poſition, relativement à la diſtance, ne ſeroit que d'un ſoixante & dixième de la diſtance abſolue. D'après ces diverſes conſidérations, je penſe qu'il eſt beaucoup de circonſtances où cette méthode peut

être utile, & qu'il en est d'autres où il faut avoir soin d'employer des objets d'un diamètre exactement connu, & placés de manière à former un triangle rectangle: alors, se servant d'une lunette dont le pouvoir amplifiant est très-grand, on pourroit parvenir à déterminer des distances avec un grand degré de précision, & peut-être même s'en servir avec succès pour prolonger une méridienne d'une manière indéfinie, & l'appliquer aux opérations du nivellement. Mais toutes les applications que l'on peut faire de cet instrument, sont trop faciles à imaginer, pour que nous croions devoir nous y arrêter. Voici cependant la méthode que nous emploierions de préférence, si nous avions une longue base à déterminer. Deux Observateurs, munis d'instrumens de même force, s'éloigneront l'un de l'autre à peu près de la distance de 500 toises dans la direction de la base qu'ils voudront mesurer; lorsqu'ils seront à leur station, ils disposeront, si c'est la nuit, deux points lumineux qui seront exactement à la distance de deux toises l'un de l'autre : il faut que les deux points lumineux soient perpendiculaires à l'axe de la lunette, condition qu'il peut facilement

remplir au moyen d'une petite lunette perpendiculaire à l'axe de celle qui sert à la mesure de l'angle. Nous avons dit qu'à chaque station on employoit deux points lumineux distans l'un de l'autre de deux toises : ainsi, si l'angle trouvé par les deux Observateurs, est, par exemple, de douze minutes, la distance entre les deux stations sera très-exactement, par la Table de la page XXXII, de 574 toises ; & cette distance sera déterminée avec une grande célérité & beaucoup de précision. L'inégalité du terrein & les erreurs multipliées occasionnées par l'addition des perches qui servent ordinairement à ces mesures, rendent ces opérations très-longues, & sujettes à des erreurs plus considérables que la méthode que nous venons d'indiquer, laquelle n'a d'incertitude que celle qui dépend du point de contact. Je n'ai pas besoin d'ajouter qu'on peut faire les mêmes opérations de jour ; mais celles qui se feroient la nuit au moyen de deux points lumineux, seroient, ce me semble, susceptibles d'une plus grande précision.

Je passe à la seconde supposition. *La distance d'un objet étant donnée, determiner sa grandeur.* C'est absolument l'inverse de la première supposition. Ainsi la distance

de l'objet étant, par exemple, de 229 toises, & l'angle sous lequel on le voit de 15 minutes, la Table de la page XXXII apprend qu'il faut diviser par deux cent vingt-neuf cette distance, pour avoir la grandeur de l'objet qu'on détermine par ce moyen avec une très-grande précision. Or, 229 toises, divisées par 229, donnent une toise; ainsi, dans cette supposition, la grandeur de l'objet est précisément d'une toise. Cette méthode peut être employée avec succès toutes les fois qu'on aura la Carte d'un pays; & pour peu qu'elle ait été dressée avec soin, on déterminera avec précision les différentes dimensions des objets qu'on aura intérêt de connoître. On pourroit employer cette méthode à déterminer la hauteur des montagnes un peu éloignées.

3°. *La grandeur & la distance d'un objet étant inconnues, déterminer & sa grandeur & sa distance.* Je suppose que l'objet dont je veux connoître la distance, fasse un angle de 15 minutes avec mon œil. Si j'approche de cet objet en ligne droite, l'angle augmentera : or, si je le trouve à la seconde station de 16 minutes, cette différence sera plus que suffisante pour me donner, dans les cas ordinaires, la distance

& la grandeur de l'objet, pourvu toutefois que je meſure la diſtance qu'il y a entre la première & la ſeconde ſtation, condition qui ne préſente jamais aucune difficulté. Je ſuppoſe cette diſtance de dix toiſes; & pour réſoudre enſuite ce petit problême avec généralité, je nomme φ la tangente de l'angle de 15', φ' la tangente de l'angle de 16', r le rayon des tables, δ l'intervalle de dix toiſes qui ſépare les deux ſtations; je nomme encore x la grandeur de l'objet, y ſa diſtance depuis la première ſtation; d'où il ſuit que $y - \delta$ ſera la diſtance de la ſeconde ſtation à l'objet. Alors les deux proportions ſuivantes donneront la valeur des deux inconnues x & y.

$$r : \varphi : : y : x,$$
$$r : \varphi : : y - \delta : x,$$
$$\text{donc } y = \frac{\varphi' \delta}{\varphi' - \varphi},$$

C'eſt-à-dire que la diſtance y de la première ſtation à l'objet, eſt égale à la tangente de l'angle de la ſeconde ſtation multipliée par l'intervalle qui ſépare les deux ſtations diviſées par la différence des tangentes des angles aux deux ſtations. Ainſi dans l'exemple que nous venons de

citer, nous aurons la diſtance de la première ſtation à l'objet, en multipliant la tangente de l'angle de 16 minutes qu'on trouve dans les tables des tangentes de 465 par dix toiſes, & en diviſant cette ſomme par la différence de 465 à 436, qui ſont les deux tangentes des angles de 16 minutes, & de 15 minutes; par conſéquent cette diſtance ſera de 160 toiſes deux pieds à peu près.

Mais on peut ſe diſpenſer de faire uſage des tangentes, parce que dans les petits angles, les tangentes diffèrent fort peu des arcs; ainſi dans la formule $y = \frac{\varphi' \delta}{\varphi - \varphi}$, on peut ſubſtituer, ſans erreur ſenſible, les arcs aux tangentes; par conſéquent on aura, en prenant le même exemple, $y = \frac{16' \times 10 \text{ toiſes}}{16' - 15'}$, ce qui donne 160 toiſes pour la valeur de la diſtance. Nous ne ſommes entrés dans ces petits détails, que pour mettre l'uſage de cet inſtrument à portée de tout le monde.

La diſtance y étant connue, on déterminera par la table XXX la grandeur x de l'objet, qui ſera dans cet exemple 160 toiſes, diviſé par 229, nombre qui répond dans notre table à 15' : ainſi la grandeur de l'objet ſera de 4 pieds 2 pouces 4 lignes

à

à peu près. Nous croyons devoir rappeler ici ce que nous avons déjà dit, *page* 102 de cet Ouvrage, au ſujet de l'apparence des images, lorſqu'on fait uſage de cet inſtrument ſur les objets terreſtres; car dans le ciel, l'illuſion dont nous allons parler n'a pas lieu. Voici ce que nous avons remarqué : Quoique les deux images d'un même objet, produites par la double réfraction d'un priſme de criſtal de roche ou d'Iſlande, ſoient ſenſiblement d'égale force, les aſpects varient ſelon la poſition de l'axe du priſme par rapport à l'œil. (*fig.* 10 & 11.) En effet, quand l'axe eſt vertical, les deux images du même objet paroiſſent à côté l'une de l'autre également éclairées & à la même diſtance; mais ſi l'axe du priſme eſt horizontal, l'apparence change, & l'image la plus élevée paroît toujours la plus éloignée. Ainſi les deux images ſont vues dans ce cas dans des plans très-différens; c'eſt-à-dire, l'une au deſſus de l'autre, à des diſtances d'autant plus inégales, que le payſage qu'on regarde eſt plus varié & a plus d'étendue. Cet effet a également lieu lorſqu'on fait uſage, dans la meſure des angles ſur terre, du quartier

de réflexion ; mais cette illuſion ne nuit pas à la préciſion ; & quoiqu'il paroiſſe plus difficile, par cette raiſon, d'eſtimer le point de contact des objets verticaux que des objets horizontaux, cependant, avec un peu d'habitude, on parvient à ſe procurer à peu près le même degré d'exactitude dans l'un & l'autre cas. On remarque auſſi que ſur terre les images paroiſſent confuſes dans certaines circonſtances ; la raiſon de ce phénomène ſe trouve à la page 103 de cet Ouvrage, où je dis que deux images données par le priſme de criſtal de roche & d'Iſlande, deviennent, par leur déplacement, tranſparentes au point de ſe reſſentir du degré d'illumination des objets ſur leſquels elles portent & qui les recouvrent ; & de là proviennent toutes les illuſions qu'on obſervera dans l'uſage de cet inſtrument, & qui ont été pour moi un grand objet d'étonnement, avant que j'en euſſe trouvé la cauſe.

Cet inſtrument peut ſervir à connoître la hauteur à laquelle des oiſeaux dont les dimenſions ſont connues, s'élèvent dans l'air.

Il peut encore ſervir à fixer, avec

autant de célérité que d'exactitude, l'élévation d'un cerf-volant destiné à faire, dans l'atmosphere, des expériences importantes.

Avant M. Franklin (*a*), on n'avoit employé le cerf-volant qu'à des amusemens frivoles ; mais cet homme célèbre a fait voir qu'on pouvoit, pat cet instrument, connoître l'électricité de l'atmosphère. Or, dans ce cas, il est utile de déterminer les différentes hauteurs perpendiculaires auxquelles il donne des signes plus ou moins forts d'électricité.

Lorsqu'on attache un thermometre au cerf-volant, la lunette à prisme & une forte lunette serviront à faire voir sa temperature qui a lieu à différentes hauteurs.

Les Marins peuvent aussi employer, dans certaine circonstances, la lunette armée de prisme, pour déterminer & la distance & la force des vaisseaux qu'ils peuvent rencontrer. En général, il

(*a*) M. Franklin pense qu'on peut faire parvenir, à l'aide d'un cerf-volant, des avis importans à nne place assiégée. Je crois qu'il seroit encore plus facile aux Marins de s'en servir, pour donner des avis, le long d'une côte, où les circonstances ne leur permettroient pas d'aborder.

eſt bon d'avoir deux lunettes de ce genre, l'une faite comme les lunettes d'Opéra, armée de priſmes de criſtal d'Iſlande, pour meſurer des angles aſſez grands, & voir en même temps les objets droits; l'autre, beaucoup plus forte, doit renverſer les objets, & être armée de priſmes de criſtal de roche, pour meſurer les très-petits angles. Avec ces deux lunettes on peut faire des opérations très-utiles.

Je vois, par exemple, un vaiſſeau par deux ſtations; je connois ſa diſtance par ma lunette de criſtal d'Iſlande, qui me donne des angles conſidérables, & par conſéquent qui peut me donner l'angle que la girouette du grand mât fait, avec telle autre partie du vaiſſeau ſitué dans leur verticale. Enſuite, avec la lunette plus forte, armée d'un priſme de criſtal de roche, je détermine ou le diamètre de ce mât, ou d'autres dimenſions qui me ſervent à connoître ſa force; ainſi il eſt poſſible de connoître & la diſtance & la force d'un vaiſſeau, d'aſſez loin pour être quelquefois à portée ou de l'éviter, ou de le joindre.

Avant de terminer ce qui a rapport

aux priſmes de criſtal de roche, je dois rendre compte de quelques eſſais que j'ai faits pour les rendre achromatiques, ſans employer d'autres ſubſtances. Pour obtenir cet effet, j'ai taillé un priſme de criſtal de roche dans le ſens où la double réfraction eſt la plus forte, & j'ai enſuite taillé une priſme de même angle & de la même ſubſtance, mais dans le ſens où la double réfraction n'eſt pas ſenſible : ces deux priſmes poſés l'un ſur l'autre en ſens oppoſé, m'ont donné un achromatiſme parfait, avec la double réfraction dont cette ſubſtance eſt ſuſceptible. Quant aux priſmes de criſtal d'Iſlande, il eſt impoſſible de les rendre parfaitement achromatiques, parce que les deux réfractions ont des diſperſions qui ſont entre elles comme celle qui a lieu dans le flintglaſſ à celle du verre de la Manufacture de Saint-Gobin : c'eſt pourquoi les lunettes armées de ces ſortes de priſmes ne doivent pas avoir un pouvoir amplifiant conſidérable, à moins qu'on ne les deſtine à meſurer le diamètre du ſoleil, parce qu'alors on employe des verres colorés qui ne laiſſent paſſer que des rayons ſenſiblement homo-

gènes, & qui affoibliſſent la lumière de cet aſtre.

J'ai fait à Saint-Gobin un eſſai, pour imiter l'effet de la double réfraction, qui m'a bien réuſſi. En attachant par le feu une lame de verre à une lame de flint-glaſſ, j'ai obtenu des effets ſemblables à ceux produits par le criſtal d'Iſlande. Cet eſſai me porte à croire qu'il entre dans les principes des criſtaux de roche & d'Iſlande, des ſubſtances différentes : car, ſans cela, comment expliquer l'effet de la double réfraction, & de la différente diſperſion? Je ſais bien que l'analyſe chimique ne donne juſqu'à préſent aucun moyen de ſéparer ces ſubſtances. Mais je ſuis enfin parvenu à m'aſſurer que le criſtal de roche le plus homogène en apparence contient deux ſubſtances d'une inégale dureté. Voici la méthode que j'ai employée : j'ai dreſſé un morceau de criſtal de roche tiré des montagnes de Suiſſe, & je me ſuis procuré un plan auſſi parfaitement uni & poli qu'il m'a été poſſible; j'ai enſuite examiné, par la réflexion oblique de la lumière ſur ce plan, les inégalites que cette méthode peut faire découvrir ; j'ai vu que ſa ſurface offroit des inégalités

ſemblables à peu près à celles qui ont lieu lorſqu'on verſe quelques gouttes d'huile bien limpide ſur de l'eau. Ces inégalités m'annonçoient d'une manière ſenſible deux ſubſtances qui réfléchiſſoient la lumière avec une force inégale : mais il m'importoit encore de connoître ſi ces deux ſubſtances avoient une inégale dureté. Pour cet effet, j'ai appliqué ſur ſa ſurface un objectif de 14 pieds de foyer; je l'ai preſſé ſur la ſurface plane du criſtal de roche, pour me procurer des anneaux colorés ; j'ai trouvé dans ces anneaux, des interruptions dans tous les endroits qui réfléchiſſoient la lumière, comme les gouttes d'huile réfléchiſſent la lumière par rapport à l'eau. Ces interruptions étoient ſi remarquables, que je pouvois trouver, par l'épaiſſeur des lames d'air, la quantité dont une des ſubſtances étoit plus creuſe que l'autre. L'évaluation la plus foible montoit à un cinq millième de ligne, quantité ſi petite, qu'il m'auroit été difficile de la déterminer d'une autre manière que par le moyen des anneaux colorés. Ainſi les deux ſubſtances qui entrent dans la formation du criſtal de roche, ont un degré inégal de dureté. La double ré-

fraction de cette ſubſtance, quand elle eſt taillée dans le ſens le plus avantageux, donne à peu près 40″ pour un priſme dont l'angle eſt d'un degré ; ainſi un priſme de criſtal de roche d'un angle de 30 degrés, donne vingt minutes de double réfraction. Quant au criſtal d'Iſlande, c'eſt environ neuf minutes par chaque degré ; d'où il ſuit qu'un priſme de criſtal d'Iſlande de trente degrés, donneroit une double réfraction de 4° 30′.

J'ai meſuré plus particuliérement les pouvoirs refringens du criſtal d'Iſlande, en conſtruiſant une lunette dont l'objectif eſt de cette ſubſtance. La différence de foyer m'a donné la différence des réfractions ; les deux rayons de courbure ſont de trois pieds. Le premier foyer eſt à 28 pouces 11 lignes, & le ſecond foyer à 33 pouces 2 lignes ; d'où il ſuit que le rapport de réfraction dans le premier cas, eſt 1, 61, & dans le ſecond cas 1, 55. Ainſi le criſtal d'Iſlande paroît compoſé de deux ſubſtances différemment réfrangibles, dont l'une a la réfraction du verre, tandis que l'autre a la réfraction du flintglaſſ. Cette lunette a la ſingulière propriété de faire ſucceſſivement l'ef-

fet de deux lunettes d'inégales longueurs ; ſans qu'on voie les objets doubles, ni même de confuſion ſenſible dans les images. Elles ſont ſeulement environnées d'une aberration qui forme un voile ſi léger, qu'il altère infiniment peu la diſtinction. On verra dans la ſuite de cet Ouvrage, l'uſage que nous avons fait de cette lunette pour la meſure des grands angles.

Lorſqu'on ſubſtitue aux priſmes qui donnent la double réfraction, un priſme achromatique de verre commun & de flintglaſſ, on ſe procure un bon micromètre qui peut ſervir, dans les quarts de cercle, à donner les ſecondes, & être ſubſtitué avec avantage à tous les uſages auxquels les Aſtronomes emploient les micromètres à fil ; car ce priſme, en parcourant l'eſpace compris entre l'objectif & les fils en croix qui ſont au foyer de la lunette, ramène avec préciſion l'objet ſur les fils, quel que ſoit ſon écartement, pourvu qu'il n'excède pas quinze ou vingt minutes, pour éviter l'effet de la parallaxe optique.

J'ai encore propoſé à l'Académie un autre uſage des priſmes. L'on ſait que la meilleure méthode de déterminer en mer

les longitudes, conſiſte dans l'obſervation de la diſtance de la lune au ſoleil, ou à une étoile qui ſe trouve dans le ſens de ſon mouvement. Les Marins ſont ſi habitués à obſerver, que ces ſortes d'obſervations ne leur offrent aucune difficulté, quoiqu'elles ſoient très-délicates: mais lorſqu'il faut faire les calculs néceſſaires pour changer la diſtance apparente en diſtance vraie, à cauſe de l'effet de la parallaxe & de la réfraction, les calculs que cette opération exige ne laiſſent pas que de les embarraſſer beaucoup; & pour peu qu'ils en aient perdu l'habitude, ils ont de la peine à s'y remettre. J'ai eu lieu de faire fréquemment, dans les longs voyages que j'ai faits ſur mer, cette remarque; auſſi cette méthode, quoiqu'elle ſoit infiniment avantageuſe à la ſûreté & aux progrès de la navigation, n'eſt pratiquée que par un fort petit nombre d'Officiers. On doit rendre hommage aux efforts que la Commiſſion des longitudes, établie en Angleterre, a faits dans ces derniers temps pour faciliter ces calculs, en donnant d'avance dans l'Almanach Nautique la diſtance de la lune au ſoleil & aux étoiles, de trois heures en

trois heures. C'eſt le ſavant Docteur Maskeline, Aſtronome royal, qui eſt chargé de la rédaction de cet Ouvrage, & qui s'en acquitte avec un ſoin bien digne de la reconnoiſſance de tous ceux qui y ont recours, pour ſe diſpenſer de longs & pénibles calculs; mais ces Tables ne diſpenſent pas de la ſolution des trois triangles ſphériques, néceſſaires pour débarraſſer la diſtance obſervée de l'effet de la parallaxe, & de la réfraction. La Commiſſion des longitudes a fait imprimer des Tables qui abrègent beaucoup les calculs. Les méthodes de M. Maskeline, Lyons & Dunthorne, rempliſſent encore le même but; mais de toutes ces méthodes connues, celle donnée par le Chevalier de Borda, Capitaine des vaiſſeaux de Sa Majeſté, Membre de l'Académie des Sciences, me paroît mériter la préférence. Cependant il faut toujours, par tous ces moyens, réſoudre les trois triangles ſphériques, &, quelque méthode que l'on emploie, on ne peut parvenir qu'à ſimplifier les calculs. J'ai donc cherché le moyen de m'en diſpenſer, ſans avoir même recours à la méthode graphique, propoſée par

M. le Monnier, de l'Académie Royale des Sciences. Pour remplir ce projet (*fig.* 18.), je place un prisme A de verre, dont la réfraction est d'un degré derrière le petit miroir B de l'instrument à réflexion qui sert à la mesure de l'angle ; ce prisme peut tourner circulairement. Un fil noir, où un trait indique le sens selon lequel il doit être tourné pour que son axe soit parallèle à l'horizon, & par conséquent son angle, dans cette position, est vertical. Il est évident qu'en faisant mouvoir ce prisme de la valeur de cent quatre-vingts degrés, son angle est encore vertical, mais son effet est en sens opposé de la première position ; de sorte que pour la position où le sommet de l'angle est tourné vers le ciel, & pour celle où il est tourné vers la terre, la différence de réfraction est de deux degrés. Il est bien à remarquer que l'œil juge avec une précision suffisante, d'une ligne verticale, lorsqu'il est guidé par le fil noir, qui indique sur le prisme la position qu'il faut lui donner ; & quand l'estimation de l'œil s'écarteroit d'un degré, cette différence seroit, comme on le voit, une erreur infiniment petite, puisqu'entre les deux

positions, écartées l'une de l'autre de 180°, la différence de réfraction ne seroit que de deux degrés. Cela posé, tandis qu'un Observateur prend, avec un cercle de réflexion ou un sextant, la distance apparente de la lune au soleil ou à une étoile, l'autre Observateur observe, avec un sextant armé de ce prisme, la distance apparente de la lune au soleil dans les deux positions du prisme, éloignées, comme nous l'avons dit, l'une de l'autre de 180°. Or, selon la nature du plan qui passe par l'œil de l'Observateur, & la lune & le soleil, la distance observée sera plus ou moins affectée de l'effet de la réfraction du prisme, laquelle seroit de deux degrés, si les deux astres étoient dans le même vertical. Or, c'est cette différence entre les deux observations, qu'il importe de connoître pour pouvoir lui comparer l'effet absolu de la parallaxe combinée avec la réfraction, afin de déterminer, par une seule proportion, la quantité dont la distance apparente s'écarte de la distance réelle.

Je suppose, par exemple, que l'effet total de la parallaxe & de la réfraction soit de 20′, ce qu'on fait toujours par

la Table qui est à la fin de cet Ouvrage, lorsqu'on connoît la hauteur des deux astres au dessus de l'horizon. Je suppose encore qu'on ait trouvé la distance apparente de la lune au soleil avec un bon instrument de 50°, & qu'avec l'instrument armé d'un prisme, on ait trouvé que la quantité dont les deux observations de distance diffèrent dans le deux positions du prisme est de 40′; je fais cette proportion : deux degrés de déplacement donnent quarante minutes entre les deux observations de distances; combien vingt minutes, effet absolu de la parallaxe & de la réfraction, doivent-elles donner? Ce quatrième terme est 13′ 20″, quantité dont la distance apparente s'écarte de la réelle. Ainsi, l'art de convertir les distances apparentes de deux astres en distances réelles, ne consiste plus que dans deux observations faciles & à la portée de tous les Marins; car, si on veut, on peut encore se dispenser de faire la proportion que nous venons d'indiquer, en faisant usage de deux prismes égaux tournant l'un sur l'autre, qui représentent tous les angles possibles, depuis zéro jusqu'au double de chacun en particulier. Par con-

ſéquent, ſi ces deux priſmes ſont enclavés dans les limbes diviſés, & qu'ils donnent chacun une réfraction d'un degré, il ſera facile de leur donner la poſition convenable pour qu'ils puiſſent produire une réfraction égale à l'effet combiné de la parallaxe & de la réfraction, qui eſt indiqué dans les Tables d'après les hauteurs des aſtres. Mais ce nouveau degré de facilité me paroît inutile, parce qu'il ne diſpenſe que d'une ſimple proportion.

Au reſte, on ſera toujours à portée d'en faire uſage, parce que la conſtruction de notre priſme exige qu'il ſoit compoſé de deux priſmes ſéparés par un anneau de verre, lequel eſt deſtiné à contenir un fluide pour remplir les fonctions d'un niveau à bulle d'air peu ſenſible, & ſur lequel le mouvement du vaiſſeau ait peu d'influence. Ce niveau, dont on verra la bulle d'air en même temps qu'on obſervera, ne permettra aucune erreur importante dans la poſition verticale que doit avoir l'angle du priſme, quelle que ſoit la ſituation de l'inſtrument, laquelle dépend toujours du plan qui paſſe par l'œil de l'Obſervateur & par les deux aſtres. Cette poſition verticale eſt d'ailleurs indiquée

par un fil noir qui indique le ſens de l'angle refringent des priſmes ; deux autres fils noirs qui ſe meuvent dans un châſſis parallèlement au premier, & qui ſont ſuſceptibles de s'approcher ou de s'écarter l'un de l'autre, ſelon que la bulle d'air eſt plus ou moins dilatée, ſervent à aſſurer au priſme le degré de préciſion néceſſaire dans la poſition verticale qu'il faut lui donner.

Ce niveau eſt infiniment commode pour placer promptement dans la verticale l'angle du priſme, parce qu'on voit en même temps la bulle d'air & l'objet à travers le petit miroir & le priſme ; en ſorte qu'il ne peut y avoir dans aucun cas une déviation d'un demi degré. Or, une telle déviation ne ſeroit d'aucune conſéquence, puiſque la différence de réfraction dans les deux poſitions oppoſées du priſme, eſt ſuppoſée d'un degré : c'eſt donc cent quatre-vingts degrés de différence dans les deux poſitions verticales & oppoſées du priſme, qui donne une différence de réfraction d'un degré ; par conſéquent un demi-degré de déviation dans ces poſitions oppoſées, ne peut pas cauſer d'altération ſenſible dans la diſtance, vu ſur-tout que cette déviation ſouffre dans preſque tous les

les cas une décompoſition qui rend ſon effet moins ſenſible encore ſur la diſtance. Enfin, rien n'empêche qu'on ſubſtitue au ſextant de réflexion un inſtrument de même genre, qui ne meſure avec préciſion qu'un petit nombre de degrés, comme celui que j'ai mis ſous les yeux de l'Académie ; cet inſtrument devient par-là, & moins diſpendieux, & plus commode ; mais il eſt néceſſairement borné à la meſure des différences entre les diſtances apparentes & les diſtances vraies. Dans cet inſtrument, le petit miroir eſt abſolument fixe ; mais le grand miroir eſt mobile de deux manières ; il eſt mu, comme dans les inſtrumens ordinaires à réflexion, par le moyen de l'alhidade ; mais ce mouvement ſeroit inſuffiſant pour donner au grand miroir toutes les inclinaiſons qui conviennent pour meſurer les plus grands angles. Or, le mouvement de l'alhidade ne parcourt qu'un très-petit nombre de dégrés ; j'ai donc été forcé de donner au grand miroir, par le moyen d'une vis ſans fin qui engraine dans la denture du cercle qui ſert de ſupport au grand miroir, un ſecond mouvement qui eſt indépendant de celui de l'alhidade. Ce ſecond mouvement ſert, non

ſeulement à donner au grand miroir le degré d'inclinaiſon néceſſaire pour prendre tous les angles, quelles que ſoient leurs grandeurs, mais encore il ſert à obtenir le plus grand degré de préciſion dans la meſure des différences entre les diſtances apparentes & les diſtances vraies. En effet, ſuppoſons qu'on mette en contact les deux aſtres par le ſeul mouvement du grand miroir, c'eſt-à-dire en tournant la vis ſans fin qui fait mouvoir ce miroir ſur ſon centre lorſque l'alhidade eſt fixé ſur zèro, juſqu'à ce que le priſme, qui eſt derrière le petit miroir, ſoit dans la poſition verticale qui lui eſt eſſentielle ; nous pouvons ſuppoſer encore que la poſition verticale du priſme eſt telle dans ce cas, que le ſommet de ſon angle eſt tourné vers le ciel. Si dans ces ſuppoſitions les deux aſtres ſont parfaitement en contact, on pourra toujours, ſans changer l'inclinaiſon des miroirs, faire ceſſer le contact en tournant le priſme en ſens oppoſé ; car en renverſant ainſi le priſme, on produit un changement de réfraction d'un degré dans la hauteur de l'aſtre qui eſt vu à travers le priſme & par la partie non étamée du petit miroir ; or, cette réfraction influera néceſſairement plus ou moins

ſur la diſtance, & par conſéquent ſur le contact. On déterminera facilement la quantité dont il s'en faut que les deux aſtres ſoient en contact dans cette ſeconde poſition du priſme, en donnant au grand miroir l'inclinaiſon qui convient pour mettre de nouveau les deux aſtres en contact : mais pour donner ce mouvement au miroir, il faut ſe ſervir de l'alhidade, qui indiquera ſur le limbe la différence que l'on cherche. Suppoſons qu'on ait trouvé cette différence de quarante minutes, on aura dès-lors les données néceſſaires pour convertir en diſtance vraie la diſtance apparente, par la ſeule proportion que nous avons déjà indiquée ; mais ſi l'on craint par cette opération de ne pas parvenir au degré déſiré de préciſion, il faudra continuer de la manière ſuivante. On arrêtera l'alhidade ſur 40′, & changeant la poſition du priſme, de manière que le ſommet de ſon angle regarde le ciel, on mettra de nouveau les deux aſtres en contact par le moyen de la vis ſans fin, qui donne au grand miroir un mouvement circulaire ſur ſon centre, indépendant de celui de l'alhidade. Lorſque ce contact ſera obtenu, on tournera de nouveau le priſme dans une

position diamétralement opposée ; alors il faudra mettre les deux astres en contact par le moyen de l'alhidade qui indiquera sur le limbe quatre-vingts minutes. Ainsi, lorsqu'on voudra une très-grande précision, il suffira de faire dix opérations semblables à celles que nous venons d'indiquer, & de diviser l'arc que l'alhidade désignera sur le limbe, en dix, lequel arc sera déterminé par ces dix opérations, avec dix fois plus de précision que par une seule opération. En effet, je suppose qu'après dix opérations je trouve que le nonius de l'alhidade me donne pour résultat total 6° 42′ ; je divise ce résultat par dix, & je trouve que l'influence du prisme sur la distance apparente des astres, a été, dans ce cas, de 40′ 12″ : donc le résultat des dix opérations s'écarte de 12″ de celui de la première opération. Je n'ai pas besoin d'ajouter que les erreurs causées par les petites déviations inévitables dans la position verticale du prisme, ainsi que les erreurs des divisions, sont d'autant mieux corrigées, qu'on multiplie les opérations. Or, comme elles se font très-promptement & très-facilement, il est avantageux d'en faire, tout le temps que l'Observateur qui s'est chargé de prendre

exactement, par un cercle de réflexion, la distance apparente des astres, s'occupe de cette opération.

La méthode que je viens d'exposer, suppose qu'il n'y ait qu'un des astres dont la hauteur varie, parce que mon instrument n'imite que la variation dans la hauteur de l'un des deux astres; mais cette supposition n'a pas lieu, puisque les deux astres sont plus ou moins affectés de l'effet de la parallaxe & de celui de la réfraction. Cependant on doit observer que les étoiles n'ont pas de parallaxe sensible, & celle du soleil n'est que de quelques secondes; ces astres ne se ressentent donc que de l'effet de la réfraction; & si leur hauteur, au dessus de l'horizon, est plus grande que quatorze degrés, cet effet ne surpasse jamais quatre minutes, & va toujours progressivement en diminuant jusqu'au zénith. Il n'en est pas de même de la lune, sa parallaxe, qui est quelquefois de plus d'un degré, suit une progression plus lente; en sorte que la correction la plus essentielle à faire, est celle qui dépend de l'effet combiné de la parallaxe & de la réfraction de cet astre. Cependant l'autre correction n'est pas à négliger, & notre instrument présente le moyen de la connoître; il suffit

pour cela de renverſer l'inſtrument, & de regarder le ſoleil ou l'étoile directement, & la lune, par réflexion, dans cette poſition. L'effet du priſme repréſente la réfraction du ſoleil ou de l'étoile, & une ſimple proportion donne, comme dans le premier cas, ſon influence ſur la diſtance. On pourroit encore ſe diſpenſer de renverſer l'inſtrument, ce qui peut être utile dans certaines circonſtances; c'eſt-à-dire dans toutes celles où l'on craindroit d'avoir une image trop foible de l'objet qu'on ſeroit obligé, dans cette diſpoſition, de voir par réflexion. Il ſuffiroit de mettre à la place où l'on a coutume de poſer les verres noirs, un priſme qui ſeroit ſuſceptible de ſe mouvoir circulairement. Nous avons dit que la poſition de ſon angle devoit être dans une ligne verticale; mais, pour lui donner cette poſition, on ne peut plus faire uſage du niveau; il faut avoir recours à la première opération, dans laquelle on ſe ſert du niveau, pour diſpoſer convenablement le priſme ſelon le plan où les deux aſtres ſe trouvent placés par rapport à l'œil. Mais le mouvement qu'il faut donner à ce priſme qui renferme la liqueur & la bulle d'air, ſervant de niveau, ſera toujours

connu par le moyen d'un index fixe, & d'un cercle divisé, qui suivra le mouvement du prisme ; ainsi l'on connoîtra toujours par-là combien le plan de l'instrument s'écarte de la perpendiculaire, & on pourra donner au prisme qui sera placé devant le grand miroir, la position verticale qu'il doit avoir, & qui est connue par le prisme à bulle d'air.

Par les essais que j'ai faits de cet instrument, je l'ai trouvé d'un usage facile & commode, & j'ai lieu d'espérer qu'il mettra un grand nombre des Marins dans le cas de faire usage des observations des distances de la lune au soleil & aux étoiles, pour la détermination des longitudes, parce que cette méthode dispense des calculs pénibles, qui jusqu'à présent étoient le véritable obstacle qui arrêtoit les progrès d'une connoissance aussi essentielle à la vie des hommes, à la perfection des Cartes, & à la sûreté de la navigation.

Il nous reste maintenant à mettre sous les yeux du Lecteur la meilleure méthode, & en même temps une des plus expéditives, pour convertir en distance vraie la distance apparente, afin de pouvoir juger des calculs que notre

inſtrument épargne aux Marins, dans le cas qu'il rempliſſe, par la ſuite des temps, le but que nous nous ſommes propoſé. Il eſt encore à remarquer que cet inſtrument eſt fort peu diſpendieux, que cet appareil peut s'adapter à tous les octans, qu'il n'en augmenteroit pas le prix de la valeur de vingt-quatre livres; & qu'enfin on ne peut commettre d'erreur, pour peu qu'on en connoiſſe l'uſage : il n'en eſt pas de même des calculs, ils exigent la plus grande attention, & même la précaution de vérifier chaque opération.

On eſt redevable à M. le Chevalier de Borda, Capitaine des vaiſſeaux du Roi, de l'Académie des Sciences & de la Marine, de la méthode que nous allons expoſer.

Soit (*fig.* 19.) Z : le zénith h, le lieu apparent de la lune, & h' ſon lieu vrai, H le lieu apparent du ſoleil ou de l'étoile, & H′ ſon lieu vrai; ſoit Nn, l'horizon, la diſtance apparente ſera Hh, & la diſtance vraie H′h'. Je fais la hauteur apparente de la lune $nh = h$; ſa hauteur vraie $nh' = h'$, la hauteur apparente de l'autre aſtre $NH = H$; ſa hauteur vraie $NH' = H'$; la diſtance apparente $Hh = \delta$, & la diſtance vraie cherchée $H'h' = \delta'$;

l'angle nZN eſt conſtant dans les deux triangles hZH & $h'ZH'$; ainſi les élémens de trigonométrie nous donneront

$$\frac{cos.\ \frac{1}{2}(H+h+\delta) \times cos.\ \frac{1}{2}(H+h-\delta)}{cos.\ H \times cos.\ h}$$
$$= \frac{cos.\ \frac{1}{2}(H'+h'+\delta') \times (cos.\ \frac{1}{2}(H'+h'+\delta')}{cos.\ H' \times cos.\ h'}.$$

La trigonométrie donne encore les équations ſuivantes : $cos.\ \frac{1}{2}(H'+h'+\delta') \times cos.\ \frac{1}{2}(H'+h'-\delta') = \frac{1}{2} cos.\ (H'+h') + \frac{1}{2}\ cosinus\ \delta'$ & $\frac{1}{2}\ cosinus\ \delta' = \overline{sinus}^2\ \frac{1}{2}\delta'$ $\frac{1}{2} cos.\ (H'+h') = \frac{1}{2} - \overline{sin.}^2\ \frac{1}{2}(H'+h') = -\frac{1}{2} + \overline{cos.}^2\ \frac{1}{2}(H'+h')$; ſubſtituant ces valeurs, dans la premiere équation, on aura $\overline{sin.}^2\ \frac{1}{2}\delta' = \overline{cos.}^2\ \frac{1}{2}(H'+h')$
$$- \frac{cos.\ H'\ cos.\ h'\ cos.\ \frac{1}{2}(H+h+\delta)\ cos.\ \frac{1}{2}(H+h-\delta)}{cos\ H.\ cos.\ h}.$$

Si on fait le ſecond membre de cette équation $= \varphi$, on aura $\overline{sin.}^2\ \frac{1}{2}\delta' = \overline{cos.}^2\ \frac{1}{2}(H'+h') - \varphi$, je fais $sin.\ \varphi' = \frac{\sqrt{\varphi}}{cos.\ \frac{1}{2}(H'+h')}$; par conſéquent $sin.\ \frac{1}{2}\delta' = cos.\ \frac{1}{2}(H'+h')\ cos.\ \varphi'$; d'où il ſuit que le *ſinus* de la moitié de la diſtance vraie, eſt égal au *coſinus* de la ſomme des hauteurs vraies, multiplié par *coſinus* φ'

Appliquons maintenant cette formule à un exemple. Le 16 Août 1771, étant,

par la laditude ſud de $22^{\circ}\frac{1}{4}$, & par la longitude eſtimée de $83^{\circ}14'$ à l'orient du méridien de Paris, à $3^{h}\ 22'\ 0''$ de temps vrai, j'ai trouvé, avec un excellent ſextant de Ramſden, la diſtance apparente du bord de la lune au bord du ſoleil, de $78^{\circ}46'20''$.

Dans la connoiſſance des temps, on trouve le demi-diamètre de la lune $15'48''$, & celui du ſoleil $15'52$; ce jour-là leur ſomme étoit $31'40''$, laquelle, ajoutée à $78^{\circ}46'20''$, donne pour diſtance apparente des centres des deux aſtres, $79^{\circ}18'$. Nous négligerons dorénavant les ſecondes, pour abréger les calculs dans cet exemple; mais en même temps nous prévenons qu'on doit y avoir égard.

La hauteur apparente du centre du ſoleil étoit au même moment de $43^{\circ}25'$, & celle de la lune $47^{\circ}33'$; après avoir trouvé les hauteurs apparentes du centre des deux aſtres, il faut corriger l'effet de la réfraction, qui donne au ſoleil une hauteur trop grande, & corriger enſuite, pour la lune, l'effet combiné de la réfraction & de la parallaxe, qui l'abaiſſe trop. Pour ces deux corrections, il ne faut aucun calcul; les Tables qui ſont à la fin de l'Ouvrage, les donnent. Par la Table

des réfractions, je vois tout de ſuite que, lorſque le ſoleil a 43°25′ de hauteur, l'effet de la réfraction eſt à peu près d'une minute; ainſi la hauteur vraie du centre du ſoleil eſt 43°24 : quant à celle de la lune, il faut connoître la parallaxe horizontale de cet aſtre, laquelle eſt ce jour-là, dans la connoiſſance des temps, de 58′. Maintenant, dans la Table deſtinée à corriger tout à la fois l'effet combiné de la parallaxe & de la réfraction, on trouve que, pour la hauteur de 47°33′, & pour 58 de parallaxe horizontale, la correction eſt d'environ 38 minutes; or, ces 38′ étant à ajouter à la hauteur apparente de la lune, la hauteur vraie de cet aſtre eſt 48°11′; ainſi, en mettant dans notre équation toutes ces données, nous parviendrons à trouver la diſtance vraie.

$\delta = 79°18'$

$H = 43°25'$

$h = 47°33'$

$\frac{H+h+\delta}{2} = 85°\ 8'$,

$\frac{H+h-\delta}{2} = \frac{H+h+\delta}{2} - 5°\ 50'$.

Cela poſé, voyons la valeur de φ : nous avons dit que $\varphi = \frac{1}{cof.\ H \times cof.\ h}$ $\times\ (cof.\ H'\ cof.\ h')\ cof.\ \frac{1}{2}\ (H + h + \delta)$

$\times$ *cof.* $\frac{1}{2}$(H + h — δ), c'eſt-à-dire, que φ eſt égal aux complémens arithmétiques des logarithmes *coſinus* des hauteurs apparentes H & h, auxquelles il faut ajouter les logarithmes *coſinus* des hauteurs vraies H′ & h', plus les logarithmes de la moitié de la ſomme des hauteurs H & h, & de la diſtance apparente δ, & de la moitié de la différence entre la diſtance apparente δ & les hauteurs apparentes H & h.

Pour ſuivre ce procédé, il faut chercher les logarithmes de ces quantités.

$\delta = 79^\circ\ 18'$		
$H = 43^\circ\ 25'$	compl. arith. de ſon *coſin.*	0,1388
$h = 47^\circ\ 33'$	....	0,170
$\frac{1}{2}(H+h+\delta) = 85^\circ\ 8'$	....	8,9985
$\frac{1}{2}(H+h-\delta) = 5^\circ\ 50'$	....	9,9977
$H' = 43^\circ\ 24'$	....	9,8611
$h' = 48^\circ\ 11'$	....	9,8239
ſommes de ces ſix logarithmes = log. φ	....	38,99114

donc logarithme $\sqrt{\varphi} = 19{,}460572$,

or *ſin.* $\varphi' = \frac{\sqrt{\varphi}}{cof.\frac{1}{2}(H'+h')}$ & $\frac{H'+h'}{2} = 45^\circ\ 47'$,

donc logarithme *ſinus* $\varphi' = 19{,}460572$ $= \sqrt{\varphi}$ moins le logarithme *coſinus* de $\frac{H'+h'}{2} = 45^\circ\ 47 = 9{,}843465$ ou $9{,}617107$, donc $\varphi' = 24^\circ\ 28'$, par conſéquent *coſ.* φ' $= 9{,}959138$. Nous avons vu que l'équa-

tion qui donne la diſtance vraie δ', eſt celle-ci : $\mathit{ſin.}\ \frac{1}{2}\ \delta' = \mathit{coſ.}\ \frac{1}{2}(H' + h')\ \mathit{coſ.}\ \varphi'$. On voit que le rayon multiplie néceſſairement le premier membre de cette équation ; car ſans cela ce ſeroit une ligne qui ſeroit égale à une ſurface, & le rayon eſt l'unité, par conſéquent *ſinus* $\frac{1}{2}\ \delta = 9,959138 + 9,843465 - 10,000000 = 9,802603$, donc $\frac{\delta'}{2} = 39^\circ\ 24'$, donc $\delta' = 78^\circ\ 48'$, c'eſt la diſtance vraie cherchée : il faut maintenant comparer cette diſtance à celle qu'on trouve dans la Connoiſſance des Temps, laquelle eſt copiée de l'Almanach Nautique, & n'eſt pas réduite au méridien de Paris. On trouvera cette diſtance, le 16 Août 1771, à neuf heures du matin, pour le méridien de Londres, de $78^\circ\ 15'\ 28$, & à midi de $79^\circ\ 49'\ 14''$; par conſéquent, en faiſant cette proportion $79^\circ\ 49'\ 14''$ moins $78^\circ\ 15'\ 28''$ eſt à trois heures comme $79^\circ\ 49'\ 14''$ moins $78^\circ\ 48'$ eſt au quatrième terme, qui indiquera l'heure qu'il étoit à Londres lorſque la diſtance de la lune au ſoleil étoit de $78^\circ\ 48'$, c'eſt-à-dire $1^\circ\ 33'\ 46'' : 45^\circ :: 1^\circ\ 1'\ 14'' : x$ ou $x = 9,849485 + 8249033 - 8,436800 = 9,661718 = 27^\circ\ 19'$ ou $1^h\ 49'\ 16''$; par conſéquent il étoit à Londres $10^h\ 10'\ 44''$, lorſqu'on nous avons fait

à la mer cette obſervation à 13 heures 22 du ſoleil, ou, ce qui eſt la même choſe, à 5 heures 22 minutes ; ainſi la différence des méridiens, entre le lieu de l'obſervation & Londres, eſt de $5^h 11' 16''$; mais Londres eſt à l'oueſt de Paris de $9' 41''$, donc il ſuit que j'étois à $5^h 20' 47''$ à l'eſt du méridien de Paris, c'eſt-à-dire $80° 12'$.

On a des tables, qui ſe nomment logarithmes proportionnels, qui ſervent à faire cette proportion très-exactement & très-promptement. Elles ont été publiées par ordre de la commiſſion des longitudes, dans un volume qui renferme pluſieurs méthodes & tables pour faciliter ces calculs.

Nous n'entrerons pas, ſur cet objet, dans de plus grands détails; on les trouve dans tous les Traités de navigation, & nous ne pourrions que répéter tout ce qui a été dit ſur les moyens de prendre à la mer la latitude & l'heure vraie.

Il n'eſt peut-être pas inutile de faire connoître aux Marins un octant que M. le Marquis de Courtanvaux s'étoit procuré à Londres, qui porte un horizon artificiel fort ingénieux; c'eſt un niveau courbe à bulle d'air peu ſenſible, que

l'on voit à travers la partie transparente du petit miroir d'un sextant, par le moyen d'un miroir incliné de quarante - cinq degrés : ce miroir rend l'image du niveau dans une position verticale, & l'on voit en même temps, dans le petit miroir, la bulle d'air qui indique le niveau & l'objet réfléchi.

L'appareil que nous nous proposons d'adapter à l'octant, pour convertir la distance apparente en distance vraie, pourroit sans doute remplir le même but que celui de M. le Marquis de Courtanvaux; mais il faudroit, dans ce cas, donner au niveau un grand diamètre, afin de le rendre assez sensible pour donner la hauteur des astres à cinq ou six minutes près : le prisme serviroit alors à un nouvel usage, son mouvement circulaire procureroit le moyen de mettre facilement dans le même vertical deux étoiles qui en seroient peu écartées ; or, deux étoiles qui passent par le même vertical, donnent l'heure avec précision, lorsqu'elles sont choisies dans les positions indiquées dans les Livres d'Astronomie. Afin de rendre un compte exact de toutes les idées que j'ai eues sur la mesure des angles, je ferai encore mention d'un moyen qui me paroît pou-

voir être employé, avec espérance de succès, à vérifier l'influence des grandes masses sur le niveau. Les expériences qui ont été faites sur ce sujet, sont trop connues, pour qu'il soit utile d'en entretenir le Lecteur; mais comme il s'agit, dans cette détermination, de la mesure d'un angle fort petit, & d'une estimation approchée de la masse qui agit, nous pensons qu'un miroir plan, qui prendroit par l'effet de la seule pesanteur un niveau parfait, pourroit indiquer d'une manière sensible l'influence des marées sur ce niveau. La surface du mercure contenu dans un vase d'un grand diamètre, donnera un miroir plan, dont le niveau changera à l'approche d'une masse considérable; par conséquent des objets remarquables réfléchis par ce miroir, & observés avec un bon télescope, sous l'angle qui est le plus convenable, & à une distance requise, pour que de petites variations, causées par des dilatations inégales, n'y causent aucune altération sensible, paroîtront hausser ou baisser dans les hautes & basses marées; la propriété de la réflexion doublera cet effet; ainsi quand cette deviation ne seroit que de quelques tierces, on s'en appercevroit, si le pouvoir amplifiant

amplifiant du téleſcope eſt conſidérable : quant à l'évaluation de la maſſe, il ſuffit de connoître la configuration des côtes & l'élévation des marées, dans les points principaux, pour parvenir à l'évaluer d'une manière ſuffiſamment approchée, pour rendre ces déterminations concluantes.

Dans le compte que je viens de rendre de mes recherches, ſur la meſure des angles, je me ſuis diſpenſé de décrire pluſieurs eſſais d'inſtrumens que j'ai faits pour meſurer des angles, par le moyen des priſmes de verre, parce que ces deſcriptions particulières ſont moins importantes que la marche que j'ai ſuivie dans mes recherches. D'ailleurs, en montrant, en 1767, combien il eſt avantageux d'employer les priſmes achromatiques de verre, pour rendre l'héliomètre ſuſceptible de meſurer de plus grands angles, que pouvois-je déſirer de plus, que de faire, par une méthode ſûre & facile, des priſmes parfaitement achromatiques, & de rendre leur effet variable ? Or, ce fut au commencement de l'année 1776 que je communiquai mes vûes à l'Académie ſur ce ſujet ; & en imaginant de faire des priſmes à angles variables, par le mouvement circulaire de deux priſmes

l'un ſur l'autre, je me procurai le double avantage d'avoir des priſmes parfaitement achromatiques, & d'en varier l'effet à volonté ; ce qui donne un degré de préciſion beaucoup plus grand dans la meſure des angles, que l'écart des objectifs, quand même on ſe ſerviroit, comme dans le micromètre objectif, de verres de très-long foyer. Ainſi, dès le 24 Février de l'année 1776, qui eſt le jour où je communiquai mon travail à l'Académie, il ne me reſtoit plus rien à déſirer ſur la meſure des angles, par les priſmes achromatiques de verre; je crus donc devoir porter mes vûes ſur les effets peu connus de la double réfraction, & je fus conduit, en ſuivant la marche dont je viens de rendre compte, à la meſure préciſe de petits angles par l'effet de cette étonnante propriété.

Le Lecteur qui aura bien voulu ſuivre avec attention les divers progrès de mes recherches, depuis l'année 1767, ne ſait peut-être pas, qu'après les Mémoires dont je viens de lui rendre compte, leſquels ont tous été lus aux Aſſemblées particulières ou publiques de l'Académie, & dont les deux premiers, qui ſervent de baſe à tout mon travail, ont été publiés

dans mes Opuſcules Mathématiques, imprimés à Breſt en 1768, M. l'Abbé Boſcowich préſenta au Miniſtre de la Marine & à l'Académie un Mémoire dans lequel ce Savant, ſans avoir de notions préciſes de la nature de mes recherches, propoſoit de les perfectionner en ſubſtituant des priſmes de verre ordinaire aux priſmes achromatiques de criſtal de roche & d'Iſlande, que je propoſois d'employer pour la meſure préciſe de très-petits angles. C'étoit préciſément par où j'avois commencé, & M. l'Abbé Boſcowich croyoit ajouter beaucoup à mes idées, en me ramenant, ſans s'en douter, aux premiers élémens qui avoient ſervi de baſe à tout mon travail.

M. l'Abbé Boſcowich avance, qu'*ayant ſu que j'avois fait voir une eſpèce de micromètre, qui, par le mouvement circulaire d'un priſme de criſtal de roche à angles variables, donnoit deux images du même objet, & en changeoit les diſtances, par un mouvement circulaire d'une des deux parties qui le compoſoient, il dit à quelques-uns de ſes amis, & entre autres au célèbre Abbé Fontana, qu'il voyoit bien comment cela ſe faiſoit; mais qu'il y auroit beaucoup plus à gagner, ſi l'on*

rendoit variable la distance du prisme au foyer de la lunette ; & il ajouta, que l'on pourroit avoir le même effet sans la double réfraction du cristal de roche, en faisant un verre à prisme simple, mais plus petit que l'ouverture de l'objectif.

Ce passage du Mémoire de M. l'Abbé Boscowich laisse voir clairement ses prétentions sur la mesure des angles par des prismes de verre ; il voudroit en même temps prouver qu'il a eu, ainsi que moi, l'idée de faire mouvoir le long de l'axe d'une lunette les prismes pour en varier l'effet à volonté : mais quoique je ne me permette aucune discussion, ni aucune réflexion entre l'assertion de ce Savant, & les certificats que je mets en note (1) sous les

(1) *Certificat de M. de Fontana.*

Moi, soussigné, certifie, comme étant la pure vérité, qu'auparavant que M. Turgot, Ministre d'Etat, me parlât de l'usage que faisoit M. l'Abbé Rochon de la double réfraction, occasionnée par le cristal de roche, pour mesurer des angles, je n'avois jamais rien lu ni entendu dire sur cette matière ; que M. Turgot ayant bien voulu me permettre d'assister à diverses expériences faites à ce sujet en sa maison par M. l'Abbé Rochon, & auxquelles furent de même présens MM. le Marquis de Condorcet, & Desmarets, je les trouvai absolument neuves, ingénieuses, & utiles. Quelque temps après, M. Turgot me dit que M. l'Abbé Rochon lui avoit montré une lunette, avec laquelle il pouvoit mesurer les angles à une seconde près de précision, & même plus, en faisant mouvoir au dedans de cette lunette le micromètre de cristal de roche, fait sur

yeux du Lecteur, j'obſerverai, 1°. que le mouvement circulaire des deux priſmes de criſtal de roche donne quatre images du même objet ; ainſi M. l'Abbé Boſcowich eſt viſiblement dans l'erreur, lorſqu'il dit que le mouvement circulaire de priſmes de criſtal de roche me donnoit deux images du même objet, dont je pouvois varier les diſtances à volonté.

ſes principes, c'eſt-à-dire en l'approchant ou l'éloignant de l'objectif. Ayant eu occaſion, par la ſuite, de parler des découvertes phyſiques avec M. l'Abbé Boſcowich, je lui communiquai celles de M. l'Abbé Rochon, comme étant déjà très-connues à Paris ; M. l'Abbé Boſcowich me dit qu'il avoit eu des idées analogues à celles-là, & que M. de la Lande (*) lui avoit déjà parlé des découvertes de M. l'Abbé Rochon, & de ce que ce dernier avoit lu à l'Académie des Sciences ſur cette matière. Paris le 19 Mai 1777. *Signé* FÉLIX FONTANA, Phyſicien de Son Alteſſe Royale le Grand Duc de Toſcane, & Directeur de ſon Cabinet d'Hiſtoire Naturelle.

(*) *Certificat de M. de la Lande, ſur la conteſtation qui s'eſt élevée au ſujet d'une découverte de M. l'Abbé Rochon.*

L'Académie m'ayant interpellé de m'expliquer ſur ce qui s'eſt paſſé entre M. Boſcowich & moi à ce ſujet, je déclare que je n'avois point entendu parler à M. l'Abbé Boſcowich, ni à qui que ce fût, de l'idée ingénieuſe de faire mouvoir un priſme le long de l'axe d'une lunette, ni de faire mouvoir un priſme circulaire, lorſque M. l'Abbé Rochon a préſenté cette découverte à l'Académie ; & que lorſque j'en ai parlé à M. l'Abbé Boſcowich, il ne m'a point dit qu'il eût eu cette idée. Fait à Paris, le 28 Mai 1777. *Signé* DE LA LANDE, de l'Académie des Sciences.

2°. C'eſt, comme on l'a déjà vu, l'embarras des quatre images qui m'a engagé de chercher une autre conſtruction, recherche qui m'a conduit à la découverte du mouvement d'un ſeul priſme achromatique de criſtal de roche, le long de l'axe d'une lunette, pour varier l'écart des deux images à volonté. M. l'Abbé Boſcowich, qui ne voit, dans le mouvement circulaire, que deux images, ne peut par conſéquent avoir eu aucun intérêt de chercher une autre conſtruction; car il eſt impoſſible d'en trouver une plus favorable pour la meſure des angles, lorſqu'on veut employer des priſmes de verre ordinaire. Cependant ce Savant nous apprend que dès qu'on lui parla de l'uſage que je faiſois du mouvement circulaire pour varier l'effet de la double réfraction, il vit ſur le champ qu'il ſeroit plus avantageux de rendre variable la diſtance du priſme au foyer de la lunette. Voilà, je l'avoue, une marche bien rapide; la mienne a été beaucoup plus lente, mais en même temps peut-être plus réfléchie; car c'eſt le 25 Janvier 1777 que je préſentai à l'Académie le premier micromètre, qui, par le mouvement circulaire, varioit l'effet de la double réfraction; &

ce ne fut que le 26 Février que je fis connoître le ſecond micromètre, qui rempliſſoit le même but, par le mouvement d'un priſme achromatique de criſtal de roche le long de l'axe d'une lunette. Quoique ces deux conſtructions fuſſent approuvées de l'Académie aux deux époques que je viens de rapporter, on jugea qu'il ſeroit utile qu'elles fuſſent connues plus particuliérement du Public ; c'eſt pourquoi je lus, le 9 Avril, à l'Aſſemblée publique de l'Académie, un précis de mes recherches, dans lequel on trouve non ſeulement la deſcription de mes deux nouveaux micromètres, mais encore un moyen d'employer les priſmes de verre à la meſure de plus grands angles : ainſi le Mémoire de M. l'Abbé Boſcowich n'ayant été préſenté au Miniſtre de la Marine que le 7 Mai de la même année, & lu à l'Académie le 16 du même mois, il étoit impoſſible que ce Savant pût avoir des droits ſur mes recherches, quand même il auroit eu des notions plus préciſes de mon travail ; il ne paroît ſans doute pas qu'il ait eu la plus légère prétention, ni ſur l'uſage que je faiſois de la double réfraction pour meſurer les petits angles, ni ſur la découverte du mouvement cir-

culaire; & quant au mouvement du prisme le long de l'axe de la lunette pour en varier l'effet, *il annonce vaguement qu'il a eu la même idée, en ajoutant que j'avois le mérite d'avoir imaginé ce mouvement dans le même temps, & peut-être avant lui, & sans avoir eu aucune connoissance de ses idées sur le même objet, de l'avoir annoncé le premier au Public, de l'avoir exécuté, & de m'en être servi le premier; il ajoute qu'il n'a rien à prétendre de ce côté-là, & que l'Astronomie m'en a toute l'obligation.*

Mais après cette déclaration, M. l'Abbé Boscowich forme, sur les premiers élémens qui ont servi de base à mon travail, des prétentions qui m'ont forcé de demander à l'Académie des Commissaires pour juger nos droits respectifs; leur rapport, qui se trouve imprimé à la page XIII des Extraits des Registres, prouve combien les prétentions de ce Savant sont peu fondées.

En effet, voici comme M. Boscowich s'exprime : *Mais M. l'Abbé Rochon n'a employé pour son micromètre que la double réfraction du cristal de roche, & on m'a assuré qu'il a dit que son prisme ne pouvoit lui donner que jusqu'à six degrés.... Ainsi, je crois rendre un service encore*

plus considérable, en proposant cette autre espèce de micromètre à verre simple, en développant sa théorie, en l'étendant aux angles beaucoup plus grands, ce qui donne le moyen de l'appliquer aussi aux instrumens d'Optique, que la Marine doit employer les latitudes & longitudes géographiques.

Il est donc évident que M. l'Abbé Boscowich croit avoir perfectionné mes recherches, en substituant aux prismes de cristal de roche les prismes de verre : or, cette prétention est d'autant moins fondée, que c'est l'application des prismes de verre à la mesure des angles qui m'a conduit par degré à mes deux micromètres de cristal de roche. D'ailleurs j'ai donné le moyen d'employer les prismes de verre à la mesure des angles dans mes Opuscules Mathématiques, imprimés à Brest en 1768 ; & afin de faire voir au Public que je n'avois pas perdu cet objet de vue, j'ai décrit, dans le Mémoire lu à l'Assemblée publique de l'Académie du 9 Avril, l'instrument de ce genre qui me paroissoit le plus propre à remplir le but que je me proposois. Il faut donc que M. l'Abbé Boscowich n'ait pas connu mes Opuscules Mathématiques, & ait pris

des informations bien vagues de mon Mémoire du 9 Avril, pour avoir été persuadé que je n'avois traité que des prismes de cristal de roche, tandis que l'objet principal de ce Mémoire regardoit le moyen d'employer les prismes des verres à la mesure de plus grands angles. Il est vrai que je n'ai pas proposé de les faire servir à la détermination de la latitude, je suis trop éloigné de penser qu'on puisse parvenir à les étendre à des angles assez grands pour obtenir une pareille détermination.

Mais mon dessein n'étant pas de relever les erreurs qui se trouvent dans le Mémoire de ce Savant, quand elles n'ont aucun rapport avec mon travail, je dois me borner aux faits qui me concernent. M. l'Abbé Boscowich me fait dire dans son Mémoire, que la double réfraction du cristal de roche, qui n'est que de quelques minutes, me sert à mesurer des angles de six degrés. Une assertion, qui s'accorde si peu avec les effets de la double réfraction du cristal de roche, a dû surprendre les Savans, qui ne connoissent mes recherches que par le Mémoire de M. Boscowich; j'ai fait, à la vérité, mention d'une réfraction de six degrés; mais cette réfraction regardoit les prismes de verre ordinaire,

& non pas, comme M. Boſcowich l'a cru, les effets de la double réfraction du criſtal de roche. Au reſte, le Public va être notre juge, & au lieu d'une diſcuſſion détaillée du Mémoire de M. l'Abbé Boſcowich, je vais mettre ſous les yeux du Lecteur, le Mémoire même de ce Savant, tel qu'il a été lu à l'Académie des Sciences, & tel qu'il eſt imprimé dans les Tranſactions Philoſophiques. Si, après le rapport des Commiſſaires de l'Académie, M. Boſcowich avoit ſupprimé ſon Mémoire, comme j'avois lieu de l'eſpérer, j'aurois gardé ſur ce ſujet le ſilence le plus abſolu ; mais il a adreſſé ſon Mémoire à la Société Royale de Londres, pour être imprimé dans les Tranſactions Philoſophiques. Ce Mémoire a excité des réclamations de la part d'un Savant d'un mérite diſtingué ; je crois devoir en conſéquence publier la traduction de ce Mémoire, en aſſurant M. Maskeline, Directeur de l'Obſervatoire de Greenwich, qui en eſt l'Auteur, que je ſerois toujours fort flatté d'avoir des idées analogues aux ſiennes ; mais je ſuis perſuadé que ce ſavant Aſtronome verra, par les dates de mes Mémoires & par la nature de mes recherches, qu'elles ſont fort diffé-

rentes & très - antérieures aux ſiennes. D'ailleurs, il eſt palpable que M. Maſkeline n'a pas pu connoître, ni la marche que j'ai ſuivie, ni les Mémoires que j'ai publiés, par l'extrait que M. l'Abbé Boſcowich en donne dans l'écrit lu à la Société Royale de Londres.

MÉMOIRE

SUR un nouveau Micromètre & Mégamètre, préſenté à M. de Sartine, par M. l'Abbé Boſcowich, Directeur d'Optique pour la Marine, à ſon audience du 7 Mai 1777.

(*Donné à l'Académie le 10, & lu le 16 du même mois*).

QUAND j'ai ſu que M. l'Abbé Rochon avoit fait voir une eſpèce de micromètre, qui, par le mouvement d'un priſme de criſtal de roche à angles variables, donnoit deux images du même objet, & en changeoit les diſtances par un mouvement circulaire d'une des deux parties qui le compoſoient, je dis à quelqu'un de mes amis, & entre autres au célèbre Abbé Fontana, que je voyois bien comment cela ſe faiſoit; mais qu'il y auroit beaucoup plus à gagner, ſi l'on rendoit variable la diſtance du priſme au foyer de la lunette : j'ai ajouté que l'on pouvoit avoir le même effet, ſans la double réfraction du criſtal de roche, en faiſant un priſme à verre ſimple, mais plus petit que l'ouverture de l'objectif. Les rayons qui paſſent par le priſme formeront une image déplacée de ſa poſition naturelle; & les autres, qui paſſeront dehors, donneront l'autre image à la même place qu'elle auroit ſi le priſme n'y étoit pas.

Quelques jours après, on a annoncé à M. de Fontana que l'Abbé Rochon avoit imaginé un autre micromètre à prisme de cristal de roche, qui, s'approchant plus ou moins du foyer de l'objectif, avoit l'avantage de produire un effet très-grand, & de pouvoir être achromatique; qu'ayant fait exécuter son instrument, & fait avec lui plusieurs observations, il avoit préparé un Mémoire sur cet objet, pour lire à la prochaine séance de l'Académie.

M. l'Abbé Fontana eut la bonté de m'en avertir immédiatement; ce fut pour lors que je lui répétai ce que j'avois eu l'honneur de lui dire la première fois, sur l'effet de ce micromètre, en y ajoutant la mesure précise de l'échelle pour la mesure du même effet, & la facilité d'obtenir la même chose, sans le cristal de roche, avec d'autres avantages que l'on pouvoit tirer des prismes à verre simple, ne couvrant pas toute l'ouverture de l'objectif, &, entre autres, celui de pouvoir mesurer, par ce moyen, des angles beaucoup plus grands que par la double réfraction du cristal de roche.

M. l'Abbé Rochon a réellement lu à l'Académie son Mémoire, & on en a fait mention dans les Gazettes; ainsi il a le mérite d'avoir imaginé la même chose dans le même temps, & peut-être avant moi, & absolument sans avoir eu aucune connoissance de mes idées sur le même objet; de l'avoir annoncé le premier au Public, de l'avoir exécuté, & de s'en être servi le premier : ainsi je n'ai rien à prétendre de ce côté-là; il a le mérite d'une belle découverte, & l'Astronomie lui en aura toute l'obligation : mais M. l'Abbé Rochon n'a employé pour son micromètre que la double réfraction du cristal de roche, & on m'a assuré qu'il a dit que son prisme ne pouvoit lui donner que jusqu'à six degrés; on sait bien que les pièces assez grandes de cette matière & assez pures sont très-rares; outre la difficulté de la travailler, étant plus dure que le verre, & quelle attention il faut pour la bien couper, afin d'avoir la différence des deux réfractions que l'on veut; ainsi je crois rendre un service encore plus considérable, en proposant cette autre espèce de micromètre à verre simple, en

développant sa théorie, en l'étendant aux angles beaucoup plus grands, ce qui donne le moyen de l'appliquer aussi aux instrumens d'Optique, que la Marine doit employer pour observer les latitudes & longitudes géographiques ; j'avois déjà fait faire un prisme de cette espèce, en faisant voir au même Abbé Fontana son effet pour la double image du soleil, sur son excellente petite lunette achromatique. On avoit les deux images, en l'appliquant à la main sur l'objectif, de manière qu'il n'en couvroit que la moitié ; en le poussant plus ou moins avant, on changeoit la vivacité de la lumière des deux images, d'où l'on voyoit qu'on pouvoit les réduire à une clarté égale. En variant l'inclinaison de cette pièce, on varioit la distance des deux images, qui n'avoit aucune variations en changeant hors de la lunette sa distance à l'objectif, cette pièce étoit un seul prisme simple, qui donnoit une réfraction un peu plus grande que le diamètre apparent du soleil ; j'y ai fait ajouter après un autre semblable & égal, l'un & l'autre ayant les bases circulaires : en tournant sur son axe l'une des deux parties, on varie l'angle depuis zéro jusqu'au double de chacun en particulier, ce qui fait approcher ou éloigner les deux images entre elles ; on obtient une variation beaucoup plus lente par l'éloignement plus grand ou plus petit du prisme à l'objectif ; mais il y a une raison particulière, pour laquelle on ne peut pas lui en donner un trop grand ; car le rétrécissement du pinceau des rayons appartenant à chaque point de l'objet, ne permet pas de l'en éloigner trop, ce qui, vers le milieu du champ, affoibliroit trop l'image directe, en interceptant une trop grande partie du même pinceau, & à la fin la feroit perdre totalement.

Je fais faire actuellement une machine grossière, dans laquelle on peut tourner une des deux pièces à la main sur son axe, pour réduire la distance des deux images un peu plus grande que celle que l'on veut mesurer, comme du diamètre du soleil, & à l'aide d'une vis de rappel, on peut éloigner le prisme, ainsi composé, de l'objectif par un mouvement semblable à celui du petit miroir des télescopes.

Je l'ai fait adapter à ma lunette ordinaire de près de quatre pieds, où son effet, pour le diamètre du soleil, doit être de beaucoup plus d'un pouce de mouvement par minute; & pour les autres planètes, on peut avoir dix ou quinze lignes par secondes & plus encore; généralement l'échelle est toute la longueur de la lunette, pour la réfraction totale du prisme; ce qui est le même pour la différence des deux réfractions dans le prisme de M. l'Abbé Rochon; mais on peut varier l'angle, en appliquant le prisme hors de la lunette à côté de l'objectif, & faisant tourner une des deux parties sur son axe; alors l'échelle de l'excès, que la somme des réfractions des deux parties du prisme a sur la différence, n'aura pour sa longueur que la demi-circonférence d'un cercle, quoiqu'on puisse faire ce cercle aussi grand que l'on veut; mais la différence de la distance des images ne sera pas proportionnelle à la différence des arcs parcourus par l'index. Pour déterminer la relation du mouvement de l'index avec la variation de la distance des deux images, il faut résoudre un problême de Géométrie, & j'en ai la solution bien simple, par la trigonométrie sphérique; mais il vaudra toujours beaucoup mieux déterminer ce rapport par une observation actuelle terrestre, d'une règle divisée & observée à une distance donnée.

Quand il s'agit d'un grand angle, on auroit des couleurs qui déformeroient beaucoup une des deux images de l'objet, c'est-à-dire celle qui est donnée par les rayons passés à travers du prisme; on les évite aisément, au moins en grande partie, en composant chaque prisme de deux pièces, une de verre commun, & l'autre de flintglass. On peut multiplier les prismes composés achromatiques, & à angles variables, en faisant que l'un donne les degrés de cinq en cinq, ou de deux en deux, & l'autre les minutes; on peut en mettre deux dehors, près de l'objectif, qui changeront la distance des images par le mouvement circulaire, & donneront l'angle cherché un peu plus grand que le véritable, & un autre dedans, qui donnera avec précision les secondes. J'ai déjà imaginé les instrumens nécessaires pour avoir avec exactitude tous ces objets, comme aussi pour l'application d'un prisme

variable à l'octant de Marine ordinaire; ayant aussi la solution des problêmes nécessaires, tout cela sera l'objet d'un Ouvrage que je prépare sur cette matière.

En attendant, je publierai dans les différens Journaux, ce Prospectus, pour donner plus tôt à tout le monde le moyen d'imaginer, sur la forme mécanique des instrumens, quelque chose de mieux que ce qui m'est venu dans l'esprit sur ce sujet nouveau & bien intéressant.

Le rapport, du Mémoire de M. l'Abbé Boscowich, a été fait à l'Académie le 23 Août 1777. Voyez page 13 des Extraits.

MICROMÈTRE PRISMATIQUE,

Ou nouvel Instrument pour mesurer les petits angles, inventé en 1776, par le Révérend Nicolas Maskeline, de la Société Royale des Sciences de Londres, & Astronome du Roi; dont la description a été lue en la Société Royale des Sciences en 1777, & imprimée en Anglois en 1778 dans les Transactions Philosophiques.

L'INVENTION du micromètre à fil, au moyen duquel on peut mesurer avec précision les différences des ascensions droites & des déclinaisons, est d'une utilité & d'une commodité reconnues dans l'Astronomie. Le micromère objectif, ingénieusement imaginé, & construit par le célèbre Savery, que défunt M. Dollond a adapté aux télescopes Neutoniens & Grégoriens, & M. Pierre Dollond d'aujourd'hui aux tubes achromatiques, n'est pas moins commode. Mais quoique ce dernier micromètre doive être très-estimé par sa grande utilité, on y remarque néanmoins quelques défauts, qui sont causés par la variation du foyer de la lentille oculaire, au moyen de laquelle le même angle peut, en divers temps, être représenté sous diverses grandeurs.

Dans

Dans le diamètre du soleil, par exemple, lorsque les axes des cônes de lumière, qui, par la double section du micromètre objectif, partant des limbes opposés du soleil, viennent se couper au foyer du télescope; alors le contact apparent des limbes du soleil ne peut être apperçu, à moins que la conformation de l'œil ne soit telle que les objets situés au point d'intersection puissent être distinctement remarqués. Si l'œil est conformé de façon qu'il apperçoive distinctement les objets plus près du verre objectif que du point d'intersection, alors les limbes du soleil paroîtront éloignés l'un de l'autre d'une distance égale des axes des cônes de lumière dans ce même point. Enfin, si l'œil voit distinctement les objets dans une plus grande distance du verre objectif que le point d'intersection, alors on verra les limbes du soleil se couper; & cette intersection formera un angle égal à celle des axes, qui se coupent au même lieu.

Soient dans la figure I, O & V, les centres du micromètre objectif; l'angle *o, a, v* soit égal au diamètre du soleil; *a* soit le point d'intersection des cônes de lumière, partant des limbes opposés du soleil; O *a* & V *a* soient les axes de ces cônes, & soit *d* le verre oculaire : il est évident que si le verre oculaire est placé de façon qu'on apperçoive distinctement les objets situés au point *a*; alors on verra non seulement les rayons *o a* & *v a* se toucher exactement, mais encore tous les autres rayons qui forment ces cônes de lumière. Si la configuration de l'œil vient à varier, la distance du verre oculaire au foyer restant toujours la même, l'œil, dans cette situation, ne verra plus distinctement les objets au point *a*; mais il les verra en *e f*, ou en *f e*, plus près ou plus loin du verre objectif, & la même image des objets se trouvera défigurée dans la rétine de l'œil ainsi conformé, telle qu'elle sera plus confusément tracée sur les plans *e f*, ou *f e*, perpendiculaires aux rayons. C'est pourquoi, comme les deux cônes de rayons *b, o, a*, & *c, v, a*, qui sont formés dans ce point par les demi-cercles du verre objectif coupé en deux, sont distans entre eux de l'intervalle *e f*, ou se coupent dans le même intervalle; de même les images solaires seront

vues ou en contact ou sans contact récriproquement. L'erreur qui se trouve dans la mesure du soleil est donc égale à l'angle *e*, *r*, *f*, attendu que la ligne *ef* est la corde de l'angle *r*, qui fait le point intermédiaire entre O & V, & est en raison à l'angle *e*, *a*, *f*, ou *o*, *a*, *v*, qui représente le diamètre du soleil; comme *ae* est à *er* ou *ar*; car *ae*, comparé à *ar*, est assez petit pour qu'on puisse le négliger.

Pour garantir le micromètre de ce défaut, j'ai cherché de trouver un moyen, par lequel les deux images du soleil, ou de tout autre objet quelconque, seroient formées de sorte que les axes des cônes de lumière vinssent du même point, ou d'autres points qui en seroient très-proches; & j'ai imaginé qu'un prisme, placé de manière qu'une partie des rayons d'un objet quelconque, tombant sur le verre objectif, seroit interceptée par ce prisme, ou avant de parvenir au verre objectif, ou après en avoir été réfractée, produiroit cet effet. Si le prisme est placé devant le verre objectif, alors les rayons, qui sont réfractés, en passant par le prisme, font avec les rayons, qui, passant par les côtés, derrière le prisme, tombent sur le verre objectif, un angle de réfraction égal à l'angle de réfraction du même prisme; lesquels rayons, passant ainsi par le prisme, & tombant sur le verre objectif, ne changent point l'angle de réfraction, mais le conservent toujours dans le même état: d'où il arrive qu'il se forme deux images du même objet, & qu'on peut avoir par-là un moyen de mesurer le diamètre apparent d'un objet quelconque, qui soit égal à l'angle de réfraction du prisme.

Si, au contraire, le prisme est placé de façon que le verre objectif soit intermédiaire entre l'objet d'où partent les rayons & entre le prisme, c'est-à-dire, si le prisme se trouve dans une distance quelconque entre le foyer du verre objectif & du verre oculaire, alors l'angle de réfraction du prisme variera selon la raison des distances du prisme au foyer du verre objectif; car cette réfraction sera à celle du prisme, comme la distance du prisme au foyer de l'objectif est à la longueur du foyer de l'objectif.

Soit dans la figure II. A, C, B, le verre objectif,

ſoit *d* le verre oculaire du tube ou du téleſcope, ſoit P R un priſme placé devant le verre objectif, ſur lequel tombent les rayons d'un objet quelconque, du ſoleil; par exemple, avant que de parvenir au verre objectif, les rayons E E, venant du limbe oriental du ſoleil, & paſſant par le verre objectif ſans paſſer par le priſme, ſont réfractés, & forment une image au point qui leur correſpond : de même les rayons W W, partant du limbe occidental du ſoleil, forment après la réfraction leur image au point W; mais les rayons 2 E, 2 E, 2 W, 2 W, qui partent, de la même manière, des limbes oriental & occidental du ſoleil, & tombant ſur le priſme P R, y ſont réfractés, forment, après une ſeconde réfraction, qu'ils ont ſubie en paſſant par le verre objectif A, C, B, leurs images aux points 2 E, 2 W, qui leur ſont correſpondans. Que ſi l'angle de réfraction du priſme eſt égal au diamètre du ſoleil, à quelque diſtance qu'on place le priſme devant le verre objectif, les deux images ſolaires W *e*, & 2 W, 2 *e* ſe toucheront toujours exactement au même point *e*, 2 W; parce que, comme les rayons du limbe occidental 2 W, 2 W forment avec les rayons du limbe oriental E E un angle égal au diamètre du ſoleil, il eſt néceſſaire que les rayons du limbe occidental, étant parallèles avec les rayons E E, après avoir ſouffert une réfraction ſous un angle égal au diamètre du ſoleil, en paſſant par le priſme, tombent ſur le verre objectif, & forment avec les rayons du limbe oriental un ſeul foyer au point *e* : d'où il réſulte que les deux images ſolaires W *e*, 2 W 2 *e* doivent ſe toucher extérieurement au point *e* 2 W, & que cet inſtrument meſurera l'angle *ec*, 2 W; mais cet angle ſeulement, & nul autre, qui ſeroit plus grand ou plus petit que le diamètre du ſoleil.

Si on place le priſme dans le tube, entre le foyer du verre objectif; alors l'angle, meſuré par cet inſtrument, eſt à l'angle de réfraction du priſme, comme la diſtance du priſme au foyer de l'objectif eſt à toute la longueur du foyer du verre objectif : mais ſi l'on place deux priſmes, par leſquels les angles oppoſés ſont mutuellement réfractés, comme on le voit dans les figures III & IV; alors l'angle meſuré eſt à la ſomme

des angles réfractés dans l'un & l'autre prisme, comme leur distance du foyer du verre objectif est à la longueur de ce même foyer.

Soit dans la figure III, A, C, B, le verre objectif, soit *d* la lentille oculaire du tube, PR & PS soient deux prismes, dont les angles de réfraction soient opposés entre eux, & qui se touchent à l'intersection de leurs plans réfringens : alors les rayons qui partent d'un objet quelconque, du soleil, par exemple, & sont réfractés en passant par le verre objectif, tendent à former leur image au foyer de ce verre ; mais une partie de ces rayons, tombant sur l'un & l'autre prisme, y subissent une double réfraction, de façon qu'ils forment deux images contraires W *e* & 2 W 2 *e*, lesquelles, si l'angle de réfraction des prismes est ainsi ordonné, se toucheront extérieurement au point 2 W.

Que ECN soit l'axe du cône de lumière EE, partant du limbe oriental du soleil, & WCO l'axe du cône de lumière WW, partant du limbe occidental du soleil ; soit N le point où se peint l'image du limbe oriental du soleil, soit O celui où l'image du limbe occidental est tracée ; si, sans les prismes, les rayons étoient seulement réfractés par le verre objectif. Mais comme alors une partie des rayons EE, tendant vers N, tombent sur le prisme PR, & y éprouvent une nouvelle réfraction, qui fait que l'image du limbe oriental du soleil est tracée en *e* ; de l'autre côté, l'autre partie des rayons EE, tombant sur le second prisme RS, y subit également une nouvelle réfraction, & trace son image au point 2 *e*.

De la même manière, les rayons du limbe occidental du soleil, qui, sans la réfraction du prisme RS, eussent formé leur image au point O, tombent sur le prisme RS, & y sont réfractés au point 2 W, de sorte qu'ils se rencontrent au point *e* du limbe oriental du soleil, tandis que l'autre partie des rayons WW est réfractée par le prisme PR au point W.

Supposons donc que les deux images du soleil W*e* & 2 W 2 *e* se touchent extérieurement au point *e* 2 W, le rayon EFR, qui a pour axe ECN, & qui est réfracté par le prisme P, R en *e*, a subi la réfraction

NRE; & parce que plus les angles sont petits, plus ils apprchoent de la raison des sinus, le sinus NRC est égal au complément de l'angle NRC; c'est pourquoi cette réfraction est à NRC, comme NC ou *ce* est à NR ou R *e*.

Pareillement la ligne OR*e*, qui représente la réfraction du rayon WGR appartenant à l'axe WCO, après avoir passé par le prisme RS, est réfractée au point 2W, ou au point *e* : cette ligne (dis-je) est alors à OC *e*, comme OC ou C *e* est à R *o* ou R *e*. Donc ORN, ou la somme OR*e* & NR*e*, est à OCN, somme des angles OC*e* & NC*e*; ou, ce qui est la même chose, au diamètre apparent du soleil, comme C*e* est à R*e*; c'est-à-dire comme la longueur du foyer du verre objectif est à la distance du prisme au même foyer.

Si les prismes sont placés, comme dans la figure IV, de façon que les angles de réfraction soient opposés entre eux; alors il arrivera que les images du soleil ON seront réfractées par le prisme PR vers W*e*, & par le prisme RS elles seront réfractées des points ON vers les points 2W 2*e*; & alors ces deux images 2W, 2*e* & W*e* se toucheront réciproquement au point 2*e*W.

Que ECN & WCO soient, comme ci-devant, les axes des rayons de lumière, qui partent des extrémités des limbes du soleil; que NO soient les deux points auxquels les deux images des limbes, tant oriental qu'occidental du soleil, viendront se peindre, après avoir passé par le verre objectif, s'il n'y avoit pas de prisme qui leur occasionnât une double réfraction; alors le rayon EFR, qui appartient à l'axe EGN, & qui est réfracté vers 2*e*, en passant par le prisme RS, subit la réfraction NR 2*e*, & le rayon WGR, qui appartient à l'axe WCO, étant réfracté par le prisme PR vers W, subit la réfraction ORW. Or, NC 2*e* est à NR 2*e*, comme RW est à CW; donc l'angle mesuré OCN est à ORN, somme des angles réfractés, comme RW est à CW, c'est-à-dire, comme la distance du prisme au foyer de l'objectif est à la longueur du foyer du même objectif.

Si les prismes sont placés comme dans la figure III, alors le point *e* de l'image W *e* est seulement formé des rayons qui sont entre A & F, & le point 2 W est seulement formé par les rayons qui sont entre B & G, & qui tombent sur le verre objectif. Or, comme les angles C R F & C R G sont égaux à la réfraction des prismes, & par-là même toujours invariables & constans, les espaces E C & O G croissent comme les distances R F & R G augmentent; au contraire, A F & G B diminuent dans la même proportion. C'est pourquoi l'une & l'autre image est formée au point *e* 2 W du commun contact, par la moitié des rayons qui tombent sur le verre objectif; en supposant toutefois, que les prismes sont placés dans une situation convenable, respectivement au verre objectif, & ces images recevront d'autant moins de lumière, que les prismes seront placés plus près du même verre.

Si, au contraire, on place les prismes comme dans la figure IV, alors les images des objets sont d'autant plus éclairés par la moitié de la lumière des rayons qui tombent sur le verre objectif, que ces prismes sont placés plus près du foyer de ce même verre au point 2 *e* W; & l'on aura la plus grande lumière possible, si l'on place les prismes au foyer même du verre objectif; parce qu'alors le point 2 *e* de l'image 2 W 2 *e*, est éclairé par tous les rayons E E, qui tombent sur le verre objectif, entre les points B & F; & de même, le point W de l'image W *e* sera éclairé par tous les rayons W W, qui passent entre les points A & G, & tombent sur le verre objectif. Cette différence de lumière est très-petite dans les tubes achromatiques, à cause de la grande ouverture du verre objectif; parce que F G, lorsqu'il est très-grand, est à la longueur du foyer de l'objectif, comme la somme des réfractions des sinus de l'un & de l'autre prisme est au rayon.

Il reste encore une troisième manière de placer les prismes, & c'est celle qu'on doit regarder comme la meilleure. Elle consiste à les arranger de façon qu'ils se joignent dans toute la longueur de leurs

côtés, de sorte que l'intersection commune des plans réfringens forme un angle droit. Par cette manière de placer les prismes, les images des objets sont toujours éclairées par la moitié des rayons, qui tombent sur le verre objectif, à quelque distance que les prismes soient placés du foyer du verre objectif.

Il résulte de tout ce qui vient d'être dit, que, par le moyen de cet instrument, à qui on peut donner le nom de *Micromètre prismatique*, on peut mesurer tous les angles qui n'excèdent pas la somme des angles des réfractions des prismes, à l'exception toutefois des angles extrêmement petits, parce que les cônes de lumière disparoissent, lorsque les prismes sont placés trop proche du foyer du verre objectif (1). On y trouve encore cet avantage, que cet instrument donne une échelle très-étendue pour la mesure des angles; c'est-à-dire toute la longueur du foyer du verre objectif. D'ailleurs, cet instrument est toujours constant dans sa situation, parce que le point O du commencement de division de l'échelle se trouve toujours au foyer du verre objectif, lequel est toujours un point fixe & stable en Astronomie, pour les objets célestes. Quant aux objets terrestres, il peut être facilement déterminé; car il est seulement nécessaire de trouver la grandeur de l'échelle, ou de trouver par la valeur de l'échelle la distance des prismes au foyer du verre objectif; ce qu'on obtient facilement, lorsque l'instrument est dirigé pour appercevoir le diamètre apparent d'un objet quelconque qu'on veut mesurer, & duquel objet on connoît par d'autres dimensions l'angle sous lequel il est vu. On connoît, par exemple, par la dimension de la distance & du diamètre d'un objet quelconque, prise par le moyen des micromètres à fil, que l'angle sous lequel l'objet est vu, est à l'objet céleste ou tout autre objet terrestre placé à une extrême distance, comme la vraie longueur du foyer du verre objectif est au foyer prolongé, qui a été connu dans l'observation de l'objet moins éloigné, pourvu

(1) Mon micromètre n'a pas dans cette construction ce défaut, qui est fort grand; au contraire, il mesure les plus petits angles avec une extrême précision.

toutefois que la différence actuelle des prismes au foyer du verre objectif, soit la même dans l'observation de l'objet terrestre, qu'elle étoit dans l'observation des objets célestes du vrai point du foyer du verre objectif.

Je pense que, pour l'usage de cet instrument, il seroit plus avantageux d'y appliquer deux prismes qu'un seul; lesquels deux prismes réfractant les rayons d'une manière opposée, il en résulteroit que cette réfraction seroit divisée entre ces prismes, comme dans les figures III & IV. Les prismes achromatiques, qu'on construit avec deux verres d'une différente réfrangibilité, qu'on appelle en Anglois *Flint & Crownglas*, combinés ensemble suivant leurs angles opposés, sont nécessaires pour mesurer les angles avec plus d'exactitude. J'avoue que j'ai éprouvé un grand plaisir, lorsque j'ai découvert, par l'expérience, que les objets représentés par ces prismes achromatiques, construits par M. Dollond, étoient très-distinctement apperçus; & que le diamètre de ces mêmes objets pouvoit être mesuré avec la plus grande facilité & la plus grande justesse.

On pourroit placer deux ou plusieurs paires de prismes dans le même tube, afin qu'on pût se servir alternativement de l'une & de l'autre paire pour mesurer les angles d'une différente grandeur: une de ces paires de prismes, dont l'angle de réfraction excéderoit de peu la somme de trente - six minutes du cercle, & l'autre, dont l'angle de réfraction excéderoit également de peu la somme d'une minute. On se sert très-commodément de cette dernière paire de prismes pour la mesure des petits angles; quoique cette espèce de micromètre ne soit pas exempte d'un petit défaut, comme on l'a déjà dit, en ce qu'on ne peut mesurer par son moyen les angles avec une extrême précision, lorsque les prismes sont placés trop près du foyer du verre objectif; car alors les cônes de lumière disparoissent, lorsqu'ils tombent sur le point des prismes, auquel ces mêmes prismes se touchent.

Suivant les principes que je viens d'exposer, un prisme de cette espèce, & qui sera mobile perpendiculairement sur toute la longueur du tube, peut servir à la place du micromètre; & l'on peut, par son moyen,

se passer d'un autre micromètre extérieur, qu'on appelle communément *Nonius* ou *Vernier*. La lunette à niveau, adaptée avec soin à ce nouveau micromètre, peut servir dans les observations des réfractions horizontales, des dépressions & des élévations des objets terrestres. Le temps & l'expérience nous apprendront divers autres usages de cet instrument.

Le *9* Juin de cette année 1777, il a été lu dans l'Assemblée de la Société Royale, un Ecrit du savant Abbé Boscowich, où l'on trouve une pareille description du micromètre prismatique, comme inventé par M. l'Abbé Rochon, dont cependant M. l'Abbé Boscowich s'attribue une partie. C'est pourquoi je certifie la Société Royale, que j'avois déjà communiqué cette invention à M. Dollond, & que je la lui avois fait exécuter; je l'avois même présentée à M. Alexandre Aubert, Membre de notre Société, une année entière avant que M. l'Abbé Boscowich en eût donné sa description à la Société Royale, comme les témoignages que je joins ici en font foi (1). Qu'il me soit permis d'observer en cet endroit, que lorsque M Dollond travailloit à la construction de cet instrument sous ma direction, depuis le mois de Mars jusqu'au mois d'Août 1776, & qu'elle étoit exécutée en diverses manières dans sa maison, en présence de plusieurs de ses Ouvriers, on ne peut pas regarder ce travail comme un ouvrage fait dans le secret. Quoi qu'il en soit, je ne doute pas qu'après les témoignages que je joins ici, de MM. Dollond & Aubert, je n'aye justement le droit de m'attribuer l'invention de ce micromètre. C'est pourquoi je remets à cette Assemblée cet instrument, avec l'attestation de M. Dollond qui l'a construit, & qui, dès le mois d'Août 1776, avoit déjà été déposé à l'Observatoire Royal. Donné à Grenwich ce 11 Decémbre 1777. *Signé* MASKELINE.

(1) M. Maskeline ne pourra, ce me semble, disconvenir que mes recherches sur la mesure des angles par mes prismes, sont bien antérieures aux Sciences, & de nature bien différente · au reste, il me semble que ce n'est point par des certificats, mais par des Mémoires imprimés ou déposés au Secrétariat de la Société Royale, que ce Savant auroit dû étayer ses prétentions.

AU RÉVÉR. DOCTEUR MASKELINE.

Le 22 Novembre 1777.

POUR ſatisfaire à vos déſirs, je vous envoie les détails ſuivans des expériences que j'ai faites, d'après votre direction, pour perfectionner un nouveau genre de micromètre, qui ſert à la meſure des petits angles. C'eſt vers le commencement d'Avril 1776, que je reçus là-deſſus vos premières inſtructions. Il s'agiſſoit de faire deux priſmes, dont l'angle réfractât la lumière de 18 minutes, & de les placer entre l'objectif & l'oculaire d'un téleſcope achromatique, d'environ trente pouces de longueur. Les deux priſmes devoient ſe toucher par leurs angles, ſe mouvoir dans une ſituation parallèle depuis l'objectif juſqu'au foyer de l'oculaire, & avoir la grandeur néceſſaire pour couvrir toute l'ouverture de l'objectif, lorſqu'ils venoient à le toucher. Les réfractions de ces priſmes formoient deux images dans le téleſcope, qui étoient entre elles à la plus grande diſtance (d'environ 36′), lorſque les priſmes touchoient à l'objectif, & qui ſe rapprochoient à meſure qu'elles ſe mou-

voient vers le foyer, dans lequel enfin elles se réunissoient. Toute la distance focale de l'objectif donnoit par conséquent la longueur de l'échelle qui servoit à mesurer la distance angulaire des deux images formées dans le télescope. Lorsque les prismes furent appliqués de la manière décrite ci-dessus, on trouva que les deux images étoient fort colorées par la réfraction des prismes. Vous me dites alors qu'on pouvoit remédier à cet inconvénient, en faisant les prismes achromatiques d'après les principes dont on se sert pour les objectifs; ce qui fut exécuté après avoir surmonté quelques difficultés, & les deux images furent alors sans couleurs & très-distinctes. Ces essais furent faits dans un tube de bois raboteux, avec l'inconvénient qu'on étoit obligé de mouvoir les prismes avec la main; & c'est dans cet état qu'on fit voir l'instrument à M. Alexandre Aubert, Ecuyer de la Société Royale, vers la fin de Mai 1776. Vous désirâtes ensuite qu'on lui donnât une forme moins imparfaite, en faisant le tube de cuivre, & de manière qu'il pût tourner pour prendre des angles dans différentes directions, en y ajoutant une vis pour faire mouvoir les prismes. Tout

cela fut terminé vers le milieu d'Août de la même année, & porté à l'Observatoire Royal.

J'ai l'honneur d'être,

Votre très-humble & obéissant serviteur,

PIERRE DOLLOND.

JE certifie que dans le mois de Mai 1776, le Révérend M. Maskeline, Astronome Royal, me montra dans la maison & à la présence de M. Dollond, un instrument pour mesurer les petits angles, qu'il disoit être de son invention. Cet instrument consistoit en deux prismes achromatiques, situés entre l'objectif & l'oculaire d'un télescope achromatique, d'environ 30 pouces de longueur. Lorsqu'on approchoit ou qu'on éloignoit ces prismes de l'oculaire, les deux images qu'ils produisoient s'approchoient ou s'éloignoient l'une de l'autre, de façon que la longueur focale de l'objectif devenoit une échelle pour mesurer la distance angulaire des deux images.

Londres, 27 Novembre 1777.

ALEXANDRE AUBERT.

MÉMOIRE

Sur un nouvel instrument propre à mesurer, avec une très-grande précision, les hauteurs solsticiales, & généralement tous les grands angles, lu à l'Assemblée publique de l'Académie des Sciences, année 1780.

De quelque manière qu'on entreprenne de déterminer sur la terre la position des différens lieux ou celles des astres dans le ciel, les conclusions auxquelles on parvient sont toujours fondées sur quelques angles donnés par l'observation.

La certitude de ces conclusions dépend donc de la précision avec laquelle on peut observer & mesurer ces angles, c'est-à-dire, de la construction & de la perfection des instrumens, en supposant d'ailleurs l'habileté & l'attention convenable de la part de l'Observateur.

Des instrumens assez grossiers ont long-temps rempli tous les désirs des Observateurs, & ils suffisoient en effet à tout ce qu'exigeoit l'état alors des Sciences.

C'étoit beaucoup, dans ces premiers

temps, de connoître les principaux phénomènes de la Nature, d'en étudier en gros l'enſemble, les rapports les plus frappans, & l'ordre dans lequel ils ſe ſuccèdent.

Avant qu'on fût parvenu à cette connoiſſance, une recherche trop ſcrupuleuſe ſur les détails eût été prématurée, & parfaitement inutile : mais depuis que les progrès des Sciences ont, pour ainſi dire, épuiſé tout ce que la Nature avoit mis à la portée de l'homme, depuis que la curioſité, plus irritée encore que ſatisfaite par la connoiſſance générale du ſyſtême du Monde, ne peut plus s'exercer que ſur les phénomènes qui, ſoit par la diſtance ou par la petiteſſe, ſoit par la lenteur des mouvemens ou par leur complication, échappent à nos ſens, à nos recherches, à l'opiniâtreté de nos efforts; il faut que de nouvelles méthodes & de nouveaux inſtrumens rapprochent en quelque ſorte de nous ces vérités trop éloignées, & nous en facilitent les approches. L'induſtrie des Savans a ſans doute beaucoup fait à cet égard ; & pour nous renfermer dans ce qui fait l'objet de ce Mémoire, l'Aſtronomie, depuis la fin du dernier ſiècle, s'eſt enrichie de pluſieurs inſtrumens nouveaux, & l'art de les

conſtruire & de les diviſer a fait, dans ces dernières années, des progrès marqués. J'oſerai dire cependant, ſans craindre d'être démenti par ceux qui, à l'habitude de ſe ſervir des inſtrumens, ont joint l'étude de la théorie de leur conſtruction, qu'on eſt encore bien loin de la perfection qu'exigent le beſoin actuel de la Science, & la fineſſe des obſervations auxquelles il faut ſe livrer, ſi l'on veut conſtater ce qui reſte de douteux dans la Science des mouvemens céleſtes.

Il ſuffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup-d'œil rapide ſur les moyens dont les Aſtronomes ſont en poſſeſſion pour meſurer les angles, & de comparer l'exactitude qu'ils peuvent donner à celle qu'on doit déſirer. Je ne me permettrai pas de m'étendre ſur cet objet; je n'en parlerai que pour faire ſentir la néceſſité de chercher des moyens plus ſûrs & plus précis, & par forme d'introduction à la deſcription du nouvel inſtrument que je préſente à l'Académie.

On ne connoît que trois moyens de déterminer la diſtance angulaire des objets qu'on ſuppoſe vus d'un même point, conſidéré comme centre; le premier conſiſte dans une opération trigonométrique;

on diſpoſe l'angle qu'on veut meſurer, de manière qu'il ſoit un des angles aigus d'un triangle rectangle, dont connoiſſant, par une meſure affective, les deux côtés, on détermine les deux angles; c'eſt ainſi que les Anciens prenoient les hauteurs du ſoleil, en meſurant la longueur de l'ombre, que projetoit ſur un plan horizontal un gnomon d'une hauteur connue.

L'arbalêtrille, ſi familière aux anciens Navigateurs, pour prendre la hauteur des aſtres, ſe rapporte à cette méthode; elle eſt aujourd'hui entièrement bannie dans l'uſage habituel de l'Aſtronomie, parce qu'elle n'eſt ſuſceptible d'aucune préciſion, à moins que les inſtrumens ne ſoient d'une grandeur exceſſive, & conſtruits avec des précautions qui les rendent néceſſairement très-rares.

On a ſeulement profité de quelques grands édifices, à la ſolidité deſquels on pouvoit ſe fier, pour faire ſervir au même uſage que les anciens gnomons, des ouvertures ménagées dans quelques parties élevées de ces édifices, & l'on a cherché à remédier à la difficulté de déterminer avec préciſion l'extrémité toujours incertaine de l'ombre du ſoleil, en recevant, au lieu de cette ombre, ſur le plan diſpoſé à

à cet effet, l'image que forment les rayons du ſoleil, réunis par un objectif d'un très-long foyer.

On peut voir dans l'égliſe de Saint-Sulpice un inſtrument de cette eſpèce, érigé par les ſoins de M. le Monnier, de cette Académie, & l'un des plus parfaits qu'on connoiſſe. Le ſecond moyen conſiſte à diriger vers chacun des objets dont on veut meſurer la diſtance angulaire, une alidade ou règle, armée de pinnules ou lunettes, ou, ſi l'on veut, à diriger ſucceſſivement la même alidade ſur deux objets, en laiſſant l'inſtrument dans une ſituation conſtante. Une de ces alidades, en tournant ſur un point fixe, promène ſucceſſivement une de ſes extrémités ſur la circonférence d'un limbe concentrique à ſon mouvement, diviſé en degrés & en parties de degrés.

C'eſt ſur ce principe que ſont conſtruits preſque tous les inſtrumens dont on ſe ſert dans la Géométrie pratique & dans l'Aſtronomie, & qu'on connoît ſous les noms de graphomètres, de quarts de cercles, de ſecteurs, &c.

Lorſqu'on deſtine ces inſtrumens à prendre la hauteur des objets au deſſus de l'horizon, l'on n'a beſoin que d'une ſeule

alidade pour pointer à l'objet, & l'on ſe ſert d'un fil à plomb, ou d'un niveau, pour conſtater la ſituation de l'inſtrument, par rapport à la ligne horizontale ou verticale.

Cette conſtruction eſt d'un uſage commode ; mais pour juger du degré de confiance qu'on peut lui accorder dans les recherches délicates dont s'occupe l'Aſtronomie moderne, il ſuffira de préſenter quelques conſidérations ; d'abord, il eſt impoſſible de pouſſer les diviſions fort loin, & encore moins de répondre de leur parfaite exactitude, dans des inſtrumens dont le rayon eſt même aſſez grand. Une ſeconde n'occupe qu'un millième de ligne dans un cercle de trois pieds de diamètre : l'épaiſſeur du trait qui marque la diviſion ſur le limbe, eſt plus conſidérable ; la moindre déviation de la main ou de l'outil qui ſert à tracer, la moindre irrégularité dans le plan du limbe, la moindre flexion qu'il éprouve ſous la main qui opère, la dilatation même qu'il en reçoit ſucceſſivement & inégalement dans toutes ſes parties, ſuffiſent pour déranger le trait de pluſieurs ſecondes. Il eſt à remarquer que ces irrégularités n'influent pas ſeulement ſur les

ſubdiviſions des petits arcs, elles tendent encore à déplacer la ſituation reſpective même des points qui ſervent à marquer les diviſions principales.

En vain, par des nonius & des tranſverſales, a-t-on cru remédier à l'impoſſibilité de diviſer en trop petites parties une circonférence d'un médiocre rayon : quand ces moyens ſeroient ſuſceptibles d'une préciſion dont ils ſont bien éloignés, quand ils diviſeroient parfaitement le degré en minutes, & les minutes en ſecondes, la plus grande exactitude dans les ſubdiviſions ne corrigeroit point l'erreur qui réſulteroit de la fauſſe poſition des extrémités de l'arc qu'elles ſubdiviſent. La même réflexion s'applique aux micromètres qu'on emploie pour ſe procurer les dernières ſubdiviſions ; ces micromètres ſont eux-mêmes ſujets à une foule d'erreurs, par l'irrégularité des vis, par le jeu indiſpenſable, pour que ces vis puiſſent ſe mouvoir ; enfin, par l'épaiſſeur des fils ou des traits qui ſervent à meſurer les parties du champ de la lunette, & qui, placés ſi près de l'œil, ont néceſſairement un rapport ſenſible avec les très-petits arcs qu'on veut déterminer.

La difficulté de donner à l'inſtrument

la position convenable, & de l'y maintenir dans les différens mouvemens qu'exigent les observations, est une nouvelle source d'erreurs inappréciables & sans remède.

Pour se procurer des divisions plus sensibles, on a vainement imaginé de faire construire des instrumens d'un très-grand rayon; ces très-grands rayons sont encore très-petits, lorsqu'il s'agit d'atteindre à la précision des secondes; mais en augmentant ainsi l'étendue des instrumens & leur poids, il s'en faut bien qu'on ait augmenté leurs avantages, dans la même proportion qu'on a multiplié les difficultés & les inconvéniens attachés à leur construction & à leur usage, & les sources d'erreurs qui en résultent.

Pour ne parler d'abord que de la division, comment tracer & diviser exactement une circonférence sur un plan qui n'est pas parfaitement dressé? & quel est l'Artiste qui ait essayé de dresser un plan parfait, & qui ne soit pas convaincu, je ne dis pas de l'excessive difficulté, mais de l'impossibilité absolue d'y réussir, quand il s'agit d'un plan dont la figure n'est pas entiérement circulaire, & même quand il s'agit d'un cercle d'un grand rayon? Mais je veux qu'on soit parvenu à dresser

& à diviſer l'inſtrument auſſi parfaitement qu'il ſoit poſſible ; comment conſervera-t-il cette exactitude, lorſqu'il ne ſera plus dans la poſition dans laquelle il a été diviſé, lorſqu'il paſſera par toutes les poſitions variables qu'exige la diverſité des obſervations, lorſqu'il ſubira les variations de température auxquelles il eſt expoſé ?

Cet inſtrument eſt compoſé de barres de cuivre, que leur poids fait courber ; ce métal employé dans la conſtruction de tous les inſtrumens de mathématique, & deſtiné à y recevoir toutes les diviſions, a même l'inconvénient de n'être ni parfaitement élaſtique, ni parfaitement homogène.

Par le défaut de l'élaſticité, lorſqu'il a été déformé par une flexion ou preſſion paſſagère, ou par la dilatation qui lui fait éprouver la chaleur, il ne ſe rétablit pas parfaitement dans ſon premier état, quoique la cauſe du dérangement ait ceſſé.

Par le défaut d'homogénéité, ſa dilatation varie, & n'eſt pas toujours la même dans les différens morceaux dont eſt compoſé le même inſtrument ; il eſt évident que toutes ces cauſes d'altérations, d'irrégularités & d'erreurs, ſont d'autant plus grandes, d'autant plus irremédiables, que

les instrumens sont plus exposés, par leur grandeur, à s'échauffer & à se refroidir inégalement dans leurs différentes parties, que la longueur des lames les rendent plus susceptibles de se plier par leur poids.

On a cru pouvoir se procurer des instrumens d'un long rayon, & retrancher cependant la plus grande partie des incommodités d'un poids & d'un volume excessif, en substituant aux cercles entiers des quarts de cercle ou d'autres secteurs. Cette idée a été mise en pratique dès le temps des Anciens; mais par-là on a augmenté prodigieusement la difficulté de dresser exactement le limbe qui doit porter les divisions, & celle de mettre l'instrument & toutes ses parties en équilibre dans toutes les situations qu'on veut lui donner, article de la plus grande importance, & l'on s'est privé des seuls moyens sur lesquels on puisse compter pour vérifier la bonté d'un instrument; car il est presque aussi difficile de vérifier un quart de cercle, que de le construire; il faut ajouter à tous ces inconvéniens des grands instrumens, la difficulté de mouvoir avec facilité des masses aussi lourdes, celle de concilier l'aisance indispensable dans leurs mouvemens, avec la difficulté non moins indis-

pensable de la stabilité que l'instrument doit conserver dans sa position, relativement à l'horizon & au méridien.

En bornant l'usage des grands instrumens à un certain genre d'observations, telles que les hauteurs méridiennes des astres, on s'est flatté d'obvier, & on obvie, jusqu'à un certain point, aux difficultés de leur donner une stabilité suffisante, en les attachant fixement à des murs, ou à des masses regardées comme inébranlables, & dont une des faces est dirigée dans le plan du méridien : on ne remédie cependant par-là qu'à une petite partie des inconvéniens que je viens d'exposer, & l'expérience a même prouvé que ces masses, regardées comme inébranlables, ne l'étoient pas, que les murs les plus solides étoient sujets à des tassemens imprévus, & à des mouvemens irréguliers, occasionnés par l'action alternative du froid & de la chaleur, de la sécheresse & de l'humidité, ce qui forme une nouvelle source d'erreurs très-difficile à reconnoître.

J'en ai dit assez pour faire sentir combien peu de succès on peut se promettre même des plus grands instrumens, construits d'après les principes ordinaires, pour

parvenir à des obſervations très-ſûres & très-préciſes ; c'eſt cependant à de tels inſtrumens que les Aſtronomes ſont réduits.

Ils peuvent, ſans doute, donner une exactitude ſuffiſante dans des obſervations ordinaires ; mais quand il s'agit de ſe livrer à des recherches plus délicates, de vérifier ſur la terre les plus petites déviations dans la poſition des niveaux & dans la direction des graves, de ſuivre au ciel la poſition apparente des étoiles, d'y démêler ce qui appartient à l'aberration de la lumière, à la nutation de l'axe, à la préceſſion des équinoxes, aux mouvemens propres qu'on ſoupçonne à ces étoiles, de déterminer les changemens lents que l'on peut ſuppoſer dans la poſition de l'orbite de la terre, & dans l'inclinaiſon de l'écliptique, de ſaiſir, dans le court eſpace de temps qui nous eſt accordé, la poſition preſque imperceptible qui y correſpond dans ces lentes révolutions, à peine ſenſibles après pluſieurs ſiècles, il faut avouer que nos moyens ſont encore bien groſſiers pour un but auſſi ſublime.

Voyons ſi la troiſième méthode de meſurer les angles que nous avons annoncés, pourroit nous en rapprocher.

Elle consiste à déplacer, par le moyen de la réflexion ou de la réfraction, l'image d'un objet, pour la porter dans le même alignement que celle de l'objet auquel on veut le comparer; la mesure de ce déplacement donne la distance angulaire des deux objets.

C'est aux Marins que le besoin a suggéré cette idée ingénieuse; la connoissance de la hauteur des astres leur est absolument nécessaire pour les guider dans leur route, & l'agitation continuelle du vaisseau ne leur permet pas d'employer, pour la mesurer, des instrumens dont l'exactitude suppose, pour première condition, la plus grande stabilité. Il falloit donc parvenir à s'en passer, & la coïncidence des deux images en offroit le moyen, puisque les deux objets, une fois mis en contact apparent, s'y voient encore, lorsqu'on les retrouve après les avoir perdus par les balancemens du vaisseau.

On sait qu'un verre, dont les surfaces sont parallèles, laisse passer la lumière des objets qu'on voit à travers, sans causer aucune altération sensible à la direction des rayons, quelque inclinaison qu'on donne au verre; mais ce même verre réfléchit aussi de sa surface les rayons qui y tombent

ſous une certaine inclinaiſon ; & quoique cette image réfléchie ſoit toujours beaucoup plus foible que celle qu'on voit directement, & beaucoup moins que celle que réfléchiroit un verre étamé, elle eſt très-ſuffiſante, lorſqu'il s'agit de faire voir par réflexion l'image du ſoleil & de la lune, ou même celle d'une étoile brillante ; tandis qu'à travers le verre on regarde directement l'horizon où ſe termine la vue de la mer. On peut donc, à l'aide d'un verre plan, faire coïncider dans le même alignement deux objets dont la diſtance angulaire eſt très-conſidérable ; il ne s'agit pour cela que d'incliner le verre réfléchiſſant d'une manière convenable. Un ſeul verre cependant ne ſuffiroit pas pour donner à la lumière réfléchie, une direction qui fît toujours coïncider les deux images.

J'ai déjà obſervé que l'œil voit toujours l'objet direct, quelle que ſoit l'inclinaiſon donnée au verre ; il n'en eſt pas de même de l'objet réfléchi, la plus petite variation dans l'inclinaiſon du verre déplace l'image.

Pour la retrouver, en ſuppoſant que le verre conſerve cette nouvelle inclinaiſon, il faut que l'œil ſe dérange un peu. Par ce dérangement, il verra auſſi l'image

directe sous un angle un peu différent : si cette différence dans l'alignement sous lequel est vu l'objet direct, étoit précisément égale au déplacement qu'a subi l'image réfléchie par le changement d'inclinaison, l'œil ne cesseroit pas de voir les deux objets dans le même alignement, dès qu'ils y auroient été une fois placés ; mais il en est tout autrement. Le déplacement de l'objet direct n'est qu'égal à la différence entre les deux inclinaisons du verre ; mais le déplacement de l'image réfléchie est double, puisque l'objet réfléchi est déplacé premièrement de la quantité résultante du changement d'angle d'incidence, égal au changement d'inclinaison du verre réfléchissant, & secondement, de la quantité résultante du changement de l'angle de réflexion, égal à celui d'incidence.

Or, si le déplacement de l'objet réfléchi est double du déplacement de l'objet vu directement, il est évident que l'œil qui voyoit les deux images en contact, lors de la première inclinaison du verre, les verra séparées lorsque cette inclinaison aura subi le plus petit changement.

On remédie à cet inconvénient, en se servant de deux verres inclinés l'un à l'autre

ſous un angle conſtant, dont l'un, qui peut être étamé, ſi l'on veut, reçoit immédiatement l'image de l'objet, & la porte ſur le ſecond, lequel la réfléchit pour la porter à l'œil, & doit être tranſparent pour laiſſer voir en même temps l'objet direct. Ces deux verres ſont liés l'un à l'autre, & ſe ſuivent dans tous leurs mouvemens. Si l'inclinaiſon de l'un change, celle de l'autre change de la même quantité : par cette conſtruction, l'image de l'aſtre ne peut être déplacée ſur le premier verre par le changement d'inclinaiſon, qu'elle ne ſoit déplacée en ſens contraire ſur le ſecond, préciſément de la même quantité ; ſa direction ſera donc conſtante tant que la poſition de l'aſtre le ſera, & l'œil qui aura vu coïncider l'image de l'aſtre avec l'objet direct, les verra toujours en contact, ou ne les verra point du tout.

C'eſt d'après cette théorie qu'eſt conſtruit le quartier de réflexion d'Hadley, inſtrument ſi précieux, & dont les Marins font tant d'uſage, non ſeulement pour connoître exactement les latitudes, mais enore pour déterminer, avec une préciſion preſque ſuffiſante aux beſoins de la navigation, les longitudes par le moyen des diſtances

de la lune au soleil ou aux étoiles.

Les instrumens faits selon ce principe, ont toute la perfection qu'on peut désirer pour le but auquel ils sont destinés ; mais comme ils doivent servir aux Marins, il faut qu'ils soient petits & légers ; il faut aussi que le déplacement de l'image de l'astre soit mesurée sur un limbe, divisé suivant la méthode ordinaire, car on n'en a pas d'autres, & de ce côté-là, les instrumens qu'emploient les Marins n'ont aucun avantage sur les instrumens ordinaires ; ils ont même un désavantage, puisque les angles étant doubles par la réflexion, le degré, sur le limbe d'un octant de deux pieds de rayon, n'a pas plus d'étendue que le degré sur le limbe d'un quart de cercle d'un pied de rayon.

Quoique ces instrumens, dans l'état où ils sont, suffisent pour les besoins de l'Astronomie Nautique, on sent qu'ils ne peuvent convenir à des recherches plus délicates : mais ne peut-on pas en construire d'autres sur le même principe, en profitant d'ailleurs de toutes les commodités qu'on a à terre pour étendre à volonté l'espace, pour varier les dispositions des verres réfléchissans & des mires qu'on peut substituer aux divisions ordinaires,

enfin, pour rendre ſenſibles, à l'aide des téleſcopes, les plus petites variations ?

C'eſt d'après cette vûe que je vais propoſer aux Aſtronomes un nouvel inſtrument, que j'ai d'abord imaginé pour obſerver les hauteurs ſolſticiales, & les changemens d'inclinaiſon de l'écliptique, & que j'ai enſuite appliqué à la meſure de tous les grands angles.

Qu'on imagine deux verres plans, fixés invariablement, & inclinés l'un à l'autre ſous un angle égal à la moitié de la hauteur du ſoleil au deſſus de l'horizon le jour du ſolſtice.

Pour rendre cette inclinaiſon abſolument invariable, je diſpoſe une pierre dure & homogène, ou une maſſe de porcelaine, taillée & creuſée de façon qu'elle ſerve de châſſis à mes deux verres, dont l'inclinaiſon ne peut varier qu'autant que la pierre ou la porcelaine changeroit de forme. Cela poſé, j'établis, à une grande diſtance, une mire dans la direction du méridien. Cette mire doit être une maſſe fixe, un pilier de pierre inébranlable. Sur cette maſſe & au même niveau du point d'où j'obſerve, je trace une ligne, ou première diviſion, qui repréſente l'horizon; cette ligne eſt traverſée par une autre

ligne verticale, diviſée, au deſſus & au deſſous du niveau, en pouces & lignes & parties de ligne : il eſt aſſez facile d'établir la ligne qui repréſente l'horizon, au niveau du point d'où j'obſerve, mais cela n'eſt pas abſolument néceſſaire ; il ſuffit qu'elle ſoit toujours la même, puiſqu'il ne s'agit pas tant de déterminer la hauteur abſolue du ſoleil au ſolſtice, que de reconnoître la variation que cette hauteur peut éprouver d'une année à l'autre.

Maintenant je dirige un bon téleſcope ſur cette mire, & je place mon aſſemblage de verre réfléchiſſant, de façon que je voye dans la même direction & la mire à travers le verre, & l'image du ſoleil, portée ſur ce même verre par la réflexion du premier.

J'ai eu ſoin auparavant, de déterminer la place deſtinée à recevoir mon aſſemblage de verre : dans cette place, qui eſt le véritable centre de l'inſtrument, & le ſommet des angles que je veux meſurer, j'établis un ſupport deſtiné à porter tous les ans l'aſſemblage de mes verres ; ce ſupport fixe eſt diſpoſé à peu près comme le ſupport d'un inſtrument des paſſages ; on voit que ces deux verres font exactement l'effet des deux miroirs du quartier

de réflexion de M. Hadley ; on voit auſſi que, pour peu que la hauteur ſolſticiale varie, l'image du ſoleil, au lieü de coïncider avec la ligne horizontale de la mire, répondra à quelqu'une des diviſions placées au deſſus & au deſſous de cette eſpèce d'horizon artificiel, & que l'étendue de ces diviſions, obſervée au téleſcope, me donnera la variation de la hauteur du ſoleil, avec une préciſion proportionnée à la diſtance à laquelle j'ai placé la mire. Cette diſtance n'eſt point arbitraire ; elle ne doit pas être trop grande, afin que la hauteur apparente de la mire ne puiſſe pas être affectée ſenſiblement par les réfractions horizontales; mais elle doit être aſſez grande pour que l'on puiſſe voir diſtinctement, par le même téleſcope, & au même foyer, les diviſions de la mire, & l'image de l'aſtre, vues d'une diſtance indéfinie ; car on ſait que le foyer où ſe réuniſſent les rayons partis d'un objet, eſt d'autant plus long que cet objet eſt plus près, & que cette différence ne devient inſenſible que lorſque la diſtance de l'objet le plus voiſin eſt déjà fort grande. L'accord de ces deux conditions donne à ma mire une diſtance de 4 à 500 toiſes ; elle eſt aſſurément bien

ſuffiſante pour me donner une grande préciſion, car les diviſions de mon inſtrument ſont marquées ſur la tangente d'un cercle de 5 à 6000 pieds de diamètre: or, ſur la circonférence d'un pareil cercle, on pourroit tracer même les tierces, puiſqu'elles occuperoient environ un trentième de ligne. Mais il eſt à obſerver que de pareilles diviſions ſeroient ſans objet, puiſqu'à une pareille diſtance, les meilleurs téleſcopes ne ſuffiroient pas pour les obſerver.

Il eſt évident que cet inſtrument n'eſt ſuſceptible d'aucun des dérangemens auxquels les autres ſont ſujets, puiſque je n'ai beſoin que de l'invariabilité ſenſible de la mire, & du ſupport de mes verres réfléchiſſans. Cet inſtrument n'a beſoin d'aucune correction, & me donne immédiatement la hauteur réelle de l'aſtre, & ſes plus petites variations affectées de la ſeule réfraction, ce qui eſt commun à toutes les manières d'obſerver.

Je dis que mon inſtrument n'eſt ſuſceptible d'aucun dérangement. Le ſeul changement d'inclinaiſon des deux verres pourroit y devenir une ſource d'erreurs; ce changement ne peut avoir lieu, qu'en ſuppoſant que la pierre ou la porcelaine

qui ſert de châſſis à mes verres changent de forme, ſuppoſition qu'on ne peut guère faire; & ſi ce changement avoit lieu, j'aurois encore un moyen très-facile de le connoître : ce moyen conſiſte à diſpoſer un troiſième verre ou miroir, deſtiné à recevoir une image réfléchie de la mire, & à la faire coïncider ſur le ſecond verre réfléchiſſant avec l'image de la même mire, vue directement; le moindre dérangement dans l'inclinaiſon des verres me feroit voir l'image de la mire double, & me feroit reconnoître l'altération qu'auroit ſubie mon inſtrument.

Il ſeroit poſſible de ſe ſervir de la même diſpoſition, & de faire ſervir la même mire pour meſurer tous les angles depuis zéro juſqu'à 90°; il ſuffiroit pour cela de placer la mire ſur une colonne aſſez élevée pour embraſſer la meſure d'un arc d'un degré, & d'avoir 90 aſſemblages de verres réfléchiſſans, chacun avec l'inclinaiſon convenable pour tous les degrés, depuis zéro juſqu'à 90.

Mais, en y réfléchiſſant, j'ai vu que je pouvois diminuer beaucoup le nombre de ces aſſemblages, & qu'avec cinq ou ſix ſeulement, on pouvoit meſurer, avec une préciſion très-grande, toutes les hauteurs

depuis zéro jusqu'à 90° : pour cet effet, je dispose une mire, non plus à la distance de 4 à 500 toises, mais à 60, 40, ou 20 pieds, comptés depuis le centre du support des verres réfléchissans, qui, comme je l'ai déjà dit, est le sommet des angles à mesurer.

La mire n'étant plus qu'à quelques toises de distance du point regardé comme le centre de l'instrument, pourra aisément, sans être d'une très-grande hauteur, porter des divisions qui représenteront la tangente d'un angle de 15 à 20° ou davantage.

Maintenant, si je veux observer les différentes hauteurs d'astres comprises dans ce nombre de degrés, il est visible que les images de ces astres ne correspondront pas avec les mêmes divisions de la mire, & que les différentes divisions me donneront les différentes hauteurs observées ; mais il reste une difficulté, celle de pouvoir voir en même temps & avec la même distinction, par le même télescope, un astre dont la distance est immense, & les divisions d'une mire éloignée seulement de quelques toises, tandis que tout le monde sait que, pour voir un objet près & un objet éloigné

par le même téleſcope, il faut éloigner ou rapprocher de l'objectif le tuyau qui porte les oculaires.

La ſolution de cette difficulté, fondée ſur les propriétés du criſtal d'Iſlande, eſt peut-être ce que j'ai à préſenter de plus piquant dans ce Mémoire.

On ſait, depuis long-temps, que le criſtal d'Iſlande a la propriété de doubler les objets qu'on regarde à travers; cette propriété vient de ce que cette ſubſtance eſt compoſée de deux matières différentes, & douées l'une & l'autre d'une différente réfraction, en ſorte qu'une partie de la lumière, qui tombe ſur la ſurface de ce criſtal, ſe réfracte ſous un angle, tandis que le reſte ſe réfracte ſous un autre angle.

Il ſuit de là, qu'un objectif de ce criſtal raſſemble dans un foyer tous les rayons réfractés par celle des deux matières qui a le plus grand pouvoir réfractif, & dans un autre foyer plus éloigné, tous les rayons réfractés par la matière la moins réfringente.

Si l'on regarde un objet à travers un tel objectif, & qu'on place les oculaires à la diſtance convenable au premier foyer, on le verra bien terminé, & les rayons

destinés à former l'autre image, étant encore trop dispersés, ne troubleront que d'une manière insensible la distinction de l'objet apperçu; si ensuite on éloigne les oculaires, on ne verra plus qu'un nuage confus jusqu'à ce qu'on soit arrivé à la distance du second foyer. A cette distance, on recommencera à voir distinctement les rayons réunis par matière la moins réfringente, & les autres seront trop dispersés pour troubler sensiblement l'image.

Maintenant, je suppose que la mire soit placée à vingt pieds de distance seulement; un télescope, fait avec un objectif de cristal d'Islande, travaillé dans un bassin de trois pieds de rayon, me fera voir distinctement l'image de l'astre, & les divisions de ma mire au même foyer. Les deux foyers d'un pareil objectif sont placés, l'un à 29 pouces 2 lignes, & le second à 33 pouces 4 lignes : si je place mes oculaires de façon à voir distinctement l'image de l'astre par ce second foyer, qui est celui de l'image la moins réfractée, je verrai l'astre parfaitement terminé, & je ne verrai point l'autre image que rassemble le premier foyer : or, je verrai en même temps, à cette distance de 33 pouces 4 lignes, les divisions de la mire

par l'image du premier foyer le plus réfringent. En effet, ces divisions n'étant qu'à 20 pieds de distance, il est nécessaire pour les voir avec ce premier foyer, de reculer les oculaires, & c'est précisément à la distance de 33 pouces 4 lignes qu'il faut les reculer ; ainsi le même oculaire rassemble à la fois l'image des divisions réunie par la forte réfraction, & celle de l'astre réunie par la plus foible réfraction ; ce qui donne un moyen fort nouveau, &, comme on voit, très-utile, de voir en même temps avec la même distinction, par le même télescope, un objet très-éloigné, & un objet très-voisin. Il est superflu de remarquer qu'un objectif, travaillé sur des bassins d'un rayon différent, produira le même effet, pour une mire placée à une distance différente, telle que 40 ou 60 pieds, ce qui me donne le moyen de rendre cette espèce d'instrument aussi précis qu'on le voudra.

Je compte pouvoir me servir, pour observer le solstice d'été prochain, de l'instrument que j'ai préparé pour cet effet. Je rendrai compte à l'Académie du résultat de mes observations.

MÉMOIRE

Sur la mesure de la dispersion & de la réfraction de différentes substances, & description de l'instrument qui a servi à cette détermination. Lu à la Séance publique de l'Académie du 5 Avril 1780.

La lumière qui traverse des corps transparens, dont les surfaces ne sont pas parallèles, se décompose en se réfractant, & donne des couleurs d'autant plus distinctes & séparées, que l'angle formé par les deux surfaces est plus grand.

L'ordre de ces couleurs est invariable, & Newton les a réduites à sept dénominations principales, qui sont le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo, & le violet.

Les Physiciens qui s'occupent des expériences sur la lumière, ne considèrent dans le prisme que les deux surfaces opposées, par lesquelles la lumière entre & sort. En conséquence, ils emploient le mot de prisme, pour désigner tout mi-

lieu transſparent, dont les deux ſurfaces, traverſées par la lumière, ſont inclinées l'une à l'autre.

On donne la forme priſmatique aux fluides, en les recevant dans des vaſes priſmatiques de verre. La mobilité des deux plaques de verre qui forment les deux côtés du priſme fluide, permet d'en changer l'inclinaiſon à volonté; & comme les plaques de verre ſont planes & d'égale épaiſſeur, elles n'ont abſolument d'autre effet que de retenir la liqueur dans le vaſe, & de lui faire prendre la figure priſmatique.

Le priſme fluide à angle variable, eſt du plus grand uſage dans les expériences de la lumière, parce qu'avec ce ſeul priſme on obtient tous les priſmes poſſibles.

C'eſt à la forme priſmatique que le diamant eſt redevable de ſes brillantes couleurs. Les petites facettes inégalement inclinées qui couvrent ſa ſurface, ſont autant de petits priſmes qui décompoſent la lumière, & produiſent cette multitude de reflets colorés qu'on ne peut ſe laſſer d'admirer. Cet effet frappe les yeux de tout le monde; mais il étoit réſervé à Newton d'en trouver la cauſe. Ce grand

homme vit que ce phénomène tenoit à l'hétérogénéité de la lumière, & à la différente réfrangibilité de ses rayons. En effet, si vous introduisez dans une chambre obscure, par un petit trou pratiqué au volet d'une fenêtre, la lumière du soleil, vous obtiendrez une image ronde de cet astre, en la recevant sur un carton placé perpendiculairement aux rayons ; mais si vous faites passer les rayons solaires par un prisme d'une substance quelconque, l'image du soleil sera déplacée en raison de la réfraction occasionnée par la forme prismatique du milieu, & cette nouvelle image vous paroîtra oblongue, & teinte des plus vives couleurs de l'arc-en-ciel, selon le même ordre, & bordée à ses extrémités de rouge & de violet, de sorte que vous jugerez le rouge composé des rayons les moins réfrangibles, & le violet produit par les rayons les plus réfrangibles. Newton a donné à cette image oblongue & colorée le nom de spectre.

Si vous comparez plusieurs prismes de même angle, mais remplis de liqueurs différentes, telles que l'eau, l'esprit de vin, l'éther, le déplacement de l'image ou du spectre ne vous paroîtra pas le même ; cette image sera plus ou moins éloignée

du lieu où elle feroit tombée, fi la lumière avoit fuivi directement fa route, fans être interceptée par le prifme; cela vient de ce que le rayon fe plie ou fe réfracte davantage, en paffant par certains milieux, qu'en traverfant d'autres, ou, ce qui eft la même chofe, de ce que les différens milieux n'ont pas une égale force réfringente.

En obfervant la diftance entre le centre du fpectre & le lieu où tomberoit le rayon direct, on détermine facilement le rapport de la force réfringente des différens milieux tranfparens.

Si, en n'employant qu'un feul milieu, vous augmentez ou diminuez l'angle des deux furfaces du prifme, vous étendrez ou refferrerez le fpectre en même temps que vous augmenterez ou diminuerez l'effet de la réfraction, & cette variation dans l'étendue du fpectre fera toujours proportionnelle au déplacement du centre de l'image, caufé par la réfraction.

Si, au contraire, vous comparez des fpectres produits par deux prifmes de même angle, mais formés de différens milieux, non feulement le déplacement des centres des deux fpectres ne fera pas le même, mais leur étendue fera augmentée, & vous

obſerverez que cette augmentation d'étendue ne ſuit pas la proportion du déplacement des centres du ſpectre, mais une proportion différente, qui varie ſuivant les différens milieux. Si vous faites changer la poſition & les angles de deux différens priſmes remplis de différentes liqueurs, de façon que les centres des deux ſpectres ſoient à la même hauteur, ou, ce qui eſt la même choſe, de façon que les deux réfractions deviennent égales, vous remarquerez, avec quelque étonnement, que les dernières teintes d'un des deux ſpectres déborderont celles de l'autre en haut & en bas, d'où vous conclurez qu'à réfraction égale, ou à déplacement égal du centre de l'image, l'écartement ou la diſperſion des couleurs qui la forment n'eſt point égale. A la vérité, ces ſpectres, quoique d'inégale longueur, préſenteront toujours les couleurs de l'iris ſelon un ordre conſtant; mais cette expérience prouve du moins qu'il réſide dans chaque ſubſtance une puiſſance plus ou moins forte de décompoſer la lumière, & de faire naître des images colorées plus ou moins étendues.

Les Phyſiciens nomment rapport de diſperſion, celui qu'ils obſervent entre

les longueurs des ſpectres produits par des priſmes de différentes ſubſtances. Newton a déterminé la réfraction d'un aſſez grand nombre de milieux ; mais la différence de leur diſperſion ne lui étoit pas connue, puiſque, d'après quelques expériences incomplètes, il la ſuppoſoit proportionnelle à la force réfractive.

Cette erreur n'a été découverte que dans ces derniers temps. L'illuſtre M. Euler témoigna le premier quelques doutes ſur l'aſſertion de Newton ; M. Klingenſtierne alla un peu plus loin, & attaqua directement, en 1755, la proportion ſuppoſée entre la force réfractive & la force de différens milieux; on recourut à l'expérience, & en 1759 M. Dollond reconnut entre le verre commun & l'eſpèce de verre de plomb, qu'on appelle fort improprement en Angleterre, flintglaſſ ou verre de ſilex, une inégalité de diſperſion bien plus conſidérable que l'inégalité de leurs forces réfractives.

Newton n'avoit eſſayé que le verre & l'eau. La différence de diſperſion qui a lieu entre ces deux ſubſtances n'étoit pas aſſez frappante, ſur-tout par la méthode dont il nous apprend qu'il s'eſt ſervi dans ſon Traité d'Optique, pour lui faire

ſoupçonner que l'origine des couleurs, dans le priſme, ne tenoit pas ſeulement à l'hétérogénéité de la lumière, & à la différente réfrangibilité de ſes rayons, mais encore à la nature de chaque ſubſtance en particulier.

Rien ne prouve mieux ſans doute combien il faut en phyſique multiplier les expériences, les varier, les rapprocher, avant d'en venir à établir des loix générales : combien ne doit-on pas craindre de ſe laiſſer entraîner trop facilement à l'eſprit de ſyſtême, quand on voit un auſſi grand homme que Newton, celui peut-être de tous les Phyſiciens qui s'eſt armé avec le plus de ſoin contre la ſéduction de cet eſprit, & qui a le mieux réuſſi en général à s'en garantir, ſe livrer néanmoins à des conſéquences précipitées d'expériences imparfaites, & s'empreſſer de conſtruire une théorie, avant d'avoir conſidéré ſon objet ſous toutes les faces dont il étoit ſuſceptible ?

Depuis Newton, mille Phyſiciens ont répété ſes expériences ſur la lumière ; aucun avant Dollond n'a ſoupçonné cette énorme diſproportion entre la diſperſion & la réfraction, qui a lieu dans les différentes ſubſtances, quelque facile qu'il

ſoit de s'en aſſurer : c'eſt cependant une expérience fondamentale, d'où les progrès de la Dioptrique dépendoient abſolument; car, ſi le rapport des diſperſions ſuivoit celui des réfractions, il ſeroit à jamais impoſſible de déplacer par la réfraction l'image d'un objet, ſans que cette image fût défigurée par la décompoſition des couleurs dont elle eſt formée; en un mot, il ſeroit impoſſible que la réfraction exiſtât ſans diſperſion de couleurs. Or, tous les inſtrumens de Dioptrique, tous les verres de lunettes n'augmentent ou ne diminuent les images apparentes des objets, que par l'effet de la réfraction; chaque point des deux ſurfaces d'une lentille quelconque, peut & doit être conſidéré comme les petites faces d'un poliédre formé par un nombre indéfini de faces indéfiniment petites, dont chacune eſt une portion du plan qui toucheroit la lentille dans ce point. Les deux points oppoſés d'une lentille, par leſquels entre & ſort chaque rayon de lumière, ſont donc un véritable priſme, dont les deux faces ont entre elles la même inclinaiſon que les deux plans tangens à ces deux points, & le rayon ſe briſe en conſéquence de cette inclinaiſon : c'eſt

parce que cette inclinaiſon varie à chaque point de la courbure de la lentille, que tous les rayons qui tombent ſur ſa ſurface extérieure ſe briſent, & prennent chacun des directions différentes, qui toutes, par l'effet de la courbure qu'on a donnée à la lentille, doivent ſe réunir dans un ſeul point qu'on nomme foyer, pour y former une image de l'objet; mais ſi, comme on l'a obſervé, chaque rayon ne peut ſe briſer dans l'eſpèce de priſme qu'il traverſe, qu'en ſe décompoſant, il s'enſuit que chaque point de l'image devient en petit une eſpèce de ſpectre formé par les couleurs toujours un peu diſperſées de ce rayon. Ces différens ſpectres ſe recouvrent, & s'oblitèrent un peu les uns les autres dans le centre de l'image, d'où réſulte ſeulement une légère confuſion, un défaut de netteté dans l'objet repréſenté; mais ſur les bords de l'image, les iris, formées par les derniers rayons décompoſés, n'étant point recouvertes & altérées par le mélange des autres couleurs d'iris voiſines, elles deviennent ſenſibles, & les images mal terminées paroiſſent bordées de petites franges de diverſes couleurs.

Plus le pouvoir amplifiant des verres

est grand, plus cet effet augmente; & c'est cet inconvénient regardé comme inévitable, qui a si long-temps empêché de donner aux télescopes de réfraction un grossissement très-considérable, en y adaptant des oculaires très-forts; car plus l'objet étoit agrandi par l'augmentation de la réfraction, plus l'image en paroissoit confuse.

Si, au contraire, on suppose que la différence des dispersions, dans différens milieux, ne suive pas le même rapport que la différence de leurs réfractions, il devient possible de former des prismes qui déplacent l'image de l'objet par la réfraction, sans la défigurer par la dispersion.

En effet, supposons deux prismes égaux de même angle, & formés d'un même milieu, que ces prismes soient appliqués l'un contre l'autre, mais en sens contraire, de façon que le dos de l'un réponde au tranchant de l'autre, il est évident que l'action de l'un & de l'autre sur la lumière étant égale, & s'exerçant en sens contraire, l'effet de l'un détruira l'effet de l'autre, & qu'il n'y aura ni réfraction, ni dispersion; l'image ne sera ni déplacée, ni altérée.

Mais les deux prismes étant toujours disposés

diſpoſés de la même manière, ſi l'on ſuppoſe que l'un des deux ait une diſperſion beaucoup plus forte à proportion de ſa réfraction, & ſi, au lieu de donner aux deux priſmes le même angle, on donne à celui qui a la plus forte diſperſion, & dont la réfraction eſt ordinairement auſſi un peu plus forte, un angle un peu moindre, & tel qu'il le faut, pour que la réfraction en ſoit égale à celle de l'autre priſme, moins réfractif & moins diſperſif; il eſt évident encore qu'il n'y aura aucune réfraction, puiſque les réfractions des deux priſmes étant égales, & agiſſant en ſens contraire, l'une détruit l'autre : mais la diſperſion du priſme dont l'angle a été diminué étant plus forte que celle de l'autre priſme, moins diſperſif dans une proportion plus grande que ne l'étoit la réfraction du premier, la diminution de l'angle, qui a ſuffi pour rendre les deux réfractions égales, eſt inſuffiſante pour égaliſer la diſperſion des deux, & celle du priſme diminué conſervera encore aſſez de ſupériorité pour n'être compenſée qu'en partie par celle de l'autre priſme moins diſperſif, & pour reſter très-ſenſible. Il y aura donc diſperſion de couleur & décompoſition du rayon, ſans déplacement du centre de

l'image, ou ſans réfraction proprement dite.

Si maintenant on diminue encore davantage l'angle du priſme le plus diſperſif, & qu'on le diminue au point que la diſperſion ne ſoit plus qu'égale à celle du priſme moins diſperſif; les deux diſperſions égales, agiſſant en ſens contraires, ſe détruiront; mais alors l'angle du priſme le plus diſperſif ſe trouvera trop diminué, pour que la réfraction qui en réſulte ſoit préciſément égale à celle du priſme le moins diſperſif; elle deviendra moindre, & dès-lors la réfraction du priſme le moins diſperſif étant ſupérieure, ne ſera que diminuée, & reſtera ſenſible. Il y aura donc, dans ce cas, réfraction & déplacement de l'image, ſans aucune diſperſion de couleur, ſans aucune décompoſition de la lumière.

Ces deux priſmes, de milieux inégalement réfractifs & plus inégalement diſperſifs, ainſi appliqués l'un à l'autre en ſens contraire, mais taillés à angles inégaux, de façon que les diſperſions ſoient exactement compenſées, & que la réfraction du milieu le plus réfractif devienne moindre, par la diminution de l'angle, que ne l'eſt la réfraction du milieu le moins

réfractif; ces deux prismes, dis-je, peuvent être considérés, quant à l'effet, comme un seul prisme composé de deux substances différentes, qui donne une réfraction sensible, & qui ne donne aucune couleur; c'est ce que j'appelle un prisme composé achromatique, c'est-à-dire sans couleur.

Maintenant, si on se rappelle ce que nous avons déjà remarqué, qu'une lentille, ou un objectif quelconque, n'est autre chose qu'un assemblage de petits prismes en nombre indéfini, dont les faces opposées ont autant d'inclinaisons différentes que les plans tangens à chaque point de la lentille forment d'angles différens, que chacun de ces prismes, par une suite de la courbure donnée à la lentille, est disposé de façon que les rayons qui s'y brisent prennent chacun des directions différentes qui coïncident dans le foyer; on concevra que si les rayons, qui, en se brisant à travers ces prismes, se décomposent & rendent l'image confuse, passoient ensuite à travers un autre systême de prismes formés d'un milieu plus dispersif, agissant en sens contraire, & dont chacun fût disposé précisément comme il le faudroit pour que chaque prisme du milieu plus dispersif détruisît la dispersion

de chaque prisme, correspondant du premier système, en laissant subsister une partie de sa réfraction, ces deux systêmes de prismes formeroient ensemble un objectif, composé de deux verres différens, qui seroit achromatique, précisément de la même manière que le prisme composé de deux verres différens est achromatique, l'image résultante de la réunion de tous les rayons se formeroit avec une entière netteté, & ne seroit point défigurée par des franges teintes des couleurs de l'iris; on pourroit y appliquer les plus forts oculaires, sans craindre de rendre l'objet confus, en le grossissant trop.

Or, c'est précisément ce qu'on exécute en combinant ensemble deux ou un plus grand nombre de verres d'une réfraction & d'une dispersion différentes, & taillés suivant des courbures & des rayons, tels que les uns, en détruisant entiérement l'effet de la dispersion des autres, laissent subsister en partie l'effet de la réfraction.

Les plus illustres Mathématiciens de l'Europe se sont occupés de déterminer les rapports les plus avantageux qu'on devoit donner aux courbures de ces différens verres, pour en former les meilleurs objectifs composés d'après les différentes

inégalités, ſoit de réfraction, ſoit de diſperſion, obſervées entre les différens milieux réfringens, & leur travail a jeté un grand jour ſur cette partie intéreſſante de l'Optique.

Mais pour la perfectionner entiérement, & pour appliquer avec ſuccès à la pratique les théories qu'ont données les Géomètres, il faut que l'expérience détermine, avec une très-grande exactitude, les rapports des réfractions & des diſperſions des différens milieux tranſparens.

Cette détermination importante n'eſt pas ſans quelques difficultés, lorſqu'on veut y mettre toute la préciſion déſirable. J'ai cherché les moyens de les ſurmonter. J'ai appliqué ces moyens à un aſſez grand nombre de milieux tranſparens, tant ſolides que fluides, & j'ai raſſemblé, ſous la forme de Table, le rapport des réfactions & des diſperſions de toutes les ſubſtances que j'ai examinées à la réfraction & la diſperſion du verre de la Manufacture des Glaces de Saint-Gobin, que j'ai pris pour terme commun de comparaiſon.

En préſentant l'extrait de cette Table à l'Académie & au Public, comme le réſultat de mon travail, je dois rendre

compte de la marche que j'ai ſuivie pour la former.

Elle eſt, comme on le voit, composée de trois colonne; l'une comprend le nom de chacun des milieux tranſparens, que j'ai juſqu'à préſent ſoumis à mes expériences.

Une ſeconde colonne énonce, vis-à-vis du nom de chaque ſubſtance, la réfraction qui lui eſt propre, ou le rapport qui a lieu pour cette ſubſtance entre le ſinus de l'angle de réfraction, & le ſinus de l'angle d'incidence du rayon; ce dernier ſinus eſt toujours exprimé par le nombre de cent, en ſorte que les nombres qui expriment les ſinus des angles de réfraction, font connoître, d'un coup-d'œil, les différences des réfractions de toutes ces ſubſtances, ſoit entre elles, ſoit avec le verre de Saint-Gobin, dont le ſinus de réfraction eſt exprimé par 155.

Enfin, la troiſième colonne énonce le rapport de la diſperſion de chacune des ſubſtances, compriſes dans la Table, avec la diſperſion qui a lieu dans le verre de Saint-Gobin, laquelle eſt toujours exprimée par le nombre cent.

La détermination de la réfraction n'a

pas paru aux Physiciens rencontrer autant de difficultés que celle de la dispersion. En effet, le rapport du sinus de l'angle de réfraction au sinus de l'angle d'incidence, étant toujours le même dans chaque milieu transparent, quelle que soit l'incidence, on n'a besoin que de mesurer ce rapport dans chaque substance séparément, & indépendamment de toute autre ; un seul prisme suffit pour cela, quel que soit l'angle que forment ses deux surfaces ; pourvu qu'on connoisse cet angle & celui de l'incidence du rayon, l'on n'a plus qu'à mesurer le déplacement de l'image par la réfraction, ou, ce qui est la même chose, la distance de l'image réfractée à l'image directe d'un rayon, qu'on peut aisément faire passer à côté du prisme. On peut encore employer d'autres moyens ; par exemple, on peut, lorsqu'il s'agit d'une substance transparente, solide, taillée en forme de lentille sur une courbure connue, & en mesurant la longueur de son foyer, en conclure la réfraction de cette substance. Mais dans toutes ces méthodes, on n'a jamais besoin de mettre ensemble en expérience des prismes de plusieurs substances ; on opère successivement sur chaque substance isolée ; on détermine la

rapport des deux ſinus pour chacune en particulier ; & il ſuffit de raſſembler les réſultats de ces opérations ſucceſſives, pour voir la différence de la réfraction dans les différentes ſubſtances.

Il n'en eſt pas de même de la diſperſion, qui, conſidérée dans chaque milieu en particulier, ne préſente point un rapport entre deux termes qui ſoit facile à ſaiſir par l'expérience, & à exprimer en nombres.

Si tous les milieux tranſparens avoient la même réfraction, celle, par exemple, du verre de Saint-Gobin, l'on pourroit toujours exprimer cette réfraction par le rapport des deux ſinus, de 100 à 155 ; mais ſi tous les milieux avoient la même diſperſion, l'on n'auroit aucun moyen d'exprimer cette diſperſion, à moins que, par une recherche très-délicate, on n'eſſayât de déterminer le rapport particulier des deux ſinus d'incidence & de réfraction pour chacune des couleurs priſmatiques. Entreprendre une pareille recherche ſur tous les milieux tranſparens ſucceſſivement, pour en comparer la diſperſion, ſeroit une choſe au deſſus, ſinon des forces, du moins de la patience humaine, & il eſt très - douteux qu'une voie auſſi longue pût procurer le degré d'exactitude

dont on a besoin ; il est beaucoup plus simple & plus court de regarder la dispersion dans chaque milieu, comme une quantité absolue qui n'a point de mesure en elle-même, & qu'on ne mesure que par la comparaison qu'on en fait avec une autre quantité du même genre. L'on n'énonce donc jamais la dispersion que donne chaque milieu, pris en particulier & d'une manière isolée, & l'on n'exprime que le rapport de la dispersion d'un milieu à la dispersion d'un autre milieu.

Dans la Table que je présente à l'Académie, la dispersion de toutes les substances est désignée par son rapport avec celle que donne le verre de Saint-Gobin, exprimée, comme je l'ai déjà dit, par le nombre 100.

Pour déterminer la réfraction des substances fluides je me suis servi d'un moyen fort commode, & susceptible d'une grande précision ; j'avois adapté au devant de l'objectif d'une lunette achromatique un prisme au vase prismatique formé par deux plaques de verre inclinées ; ce prisme étoit séparé en deux prismes égaux par une cloison placée au milieu parallèlement à ses deux bases, & qui coupoit en deux le champ de la lunette. Je remplissois une

des deux moitiés du prisme avec de l'eau distillée, dont la réfraction est depuis long-temps connue, & facile d'ailleurs à déterminer. L'autre moitié étoit remplie avec le fluide dont je voulois connoître la réfraction. Je pointois ensuite la lunette sur une planche placée à une distance que j'avois mesurée avec soin. Cette planche étoit disposée en triangle rectangle, dont le petit côté étoit horizontal, & le grand côté perpendiculaire. La surface en étoit couverte de papier blanc, sur lequel on avoit tracé, de pouce en pouce, de fortes lignes noires, horizontales, ou parallèles au petit côté. Ces lignes étoient accompagnées d'un chiffre. Les deux fluides, contenus dans les deux parties du prisme, n'ayant pas une égale réfraction, faisoient voir dans la lunette deux images de la planche, dont l'une paroissoit plus élevée que l'autre; au moyen de la forme triangulaire, les lignes noires, marquées sur ces deux images, déborcoient assez l'une sur l'autre, pour qu'on pût aisément compter de combien d'intervalles de lignes l'image supérieure s'élevoit au dessus de la pointe de l'image inférieure; & comme les lignes étoient espacées à un pouce l'une de l'autre, il étoit aisé d'en

conclure, par le calcul, quelle étoit la différence de la réfraction des deux fluides.

Cette méthode n'eſt pas auſſi aiſément applicable aux priſmes de matière ſolide, & elle ſeroit preſque impraticable pour certaines ſubſtances dont on ne peut ſe procurer que de très-petits échantillons, à peine ſuſceptibles d'être taillés en priſme. Telles ſont la plus grande partie des pierres précieuſes, & ſur-tout le diamant; tels ſont même certains verres de compoſitions extaordinaires, qui ſont ou mal fondus, ou mal recuits, & dont, par cette raiſon, l'on ne peut recueillir que de petits éclats aſſez diaphanes, pour les ſoumettre à l'expérience. Voici le procédé que je ſuis pour éprouver la réfraction de ces ſubſtances.

Je prends une plaque de cuivre percée de deux petits trous diſtans l'un de l'autre d'une demi-ligne, c'eſt-à-dire, aſſez voiſins, pour qu'en appliquant un œil, je puiſſe voir à la fois par les deux ouvertures. J'applique ſur un des trous le petit priſme dont je cherche à connoître la réfraction. Alors, ſi je regarde, à travers les deux trous à la fois, la flamme d'une bougie, l'image de cette flamme me paroîtra double, puiſque je vois par un des trous

l'image réfractée de la bougie, & que par l'autre je vois directement la bougie elle-même. L'écartement entre les deux images est l'effet de la réfraction du prisme. Pour avoir la mesure précise de cet écartement, & de la réfraction qui le cause, au lieu d'une seule bougie, j'en allume deux, que je place à la distance d'une toise, ou à toute autre distance connue. Alors, en les regardant à travers la plaque de cuivre, je vois communément quatre images; mais en m'éloignant ou me rapprochant, j'arrive à un point où les quatre images se réduisent à trois, c'est-à-dire, au point où l'image directe de la bougie, qui est à gauche, coïncide précisément avec l'image réfractée de la bougie qui est à droite, ou réciproquement. Il est évident qu'alors l'image réfractée de la bougie droite est portée par la réfraction au même point où la vue directe me fait voir la bougie gauche, & autant écartée de l'image directe de la bougie droite, que les images directes des deux bougies sont écartées l'une de l'autre. L'écartement apparent des images est donc alors précisément égal à la distance réelle des deux bougies, & je n'ai plus qu'à mesurer la distance à laquelle j'étois placé des deux bougies,

& à résoudre le triangle que formoit mon œil avec elles, pour en conclure avec une très-grande précision l'angle de réfraction qui a produit l'écartement des images.

C'est par cette méthode que j'ai trouvé qu'un diamant, taillé en prisme de cinq degrés, donne une réfraction de 8° 51′, tandis qu'un verre du même angle n'en donne qu'une de deux degrés 38′; j'avois, dès l'année passée, éprouvé avec M. de Montigny, cette prodigieuse réfraction sur un diamant, dont l'angle est d'environ 23°, & dont nous avons trouvé la réfraction de 35° 40′.

Je passe aux moyens qui m'ont servi à mesurer, avec une précision au moins égale, les différentes dispersions dont j'indique les rapports dans ma Table.

Il ne se présente que deux moyens possibles de comparer la dispersion, produite par les différens milieux transparens; l'un plus directe, & qui consiste à se procurer deux prismes absolument semblables des deux milieux, à les placer exactement dans les mêmes circonstances, & à mesurer l'étendue du spectre coloré que donne chacun de ces deux prismes. S'il étoit impossible de se procurer deux prismes absolument semblables, & semblablement

placés, il faudroit tenir compte de l'inégalité, soit dans les angles des prismes, soit dans les circonstances, pour pouvoir, d'après l'expérience faite sur des prismes inégaux, en conclure, par le calcul, l'effet qui auroit eu lieu dans le cas de l'égalité. Mais indépendamment de la difficulté, assez considérable, de s'assurer, avec une exactitude suffisante, soit de l'égalité absolue des prismes & des circonstances, soit du degré précis de leur inégalité, cette méthode a un inconvénient plus grand encore, & qui empêchera toujours d'obtenir par elle aucun résultat certain & précis : cet inconvénient tient à la nature même du spectre solaire, qu'on prétendroit mesurer. Ce spectre ne se termine point d'une manière nette. Les faisceaux colorés qui le composent, n'ont une couleur bien décidée qu'à leur centre; à mesure qu'ils s'en écartent, ils se dégradent par une foule de nuances imperceptibles; par l'effet de cette dégradation, les deux faisceaux qui forment l'extrémité du spectre, sont bordés par une espèce de pénombre plus ou moins claire, plus ou moins étendue, suivant que la lumière a plus ou moins d'intensité, que la chambre où l'on fait l'expérience est plus ou

moins obſcure, que l'œil de l'Obſervateur eſt plus ou moins fort, plus ou moins fatigué, plus ou moins attentif, toutes circonſtances auſſi variables qu'inappréciables, & qui rendent phyſiquement impoſſible de s'aſſurer de l'étendue préciſe du ſpectre produit par chaque milieu ; cette méthode ne peut donc donner que des réſultats très-groſſiers, & dont on ne pourroit faire aucun uſage.

L'autre moyen de comparer les diſperſions ſemble, au premier coup-d'œil, moins direct ; il conſiſte à faire paſſer le rayon de lumière, ou à regarder un objet éclairé à travers deux priſmes de différens milieux, placés en ſens contraires, & dont les angles aient le degré d'inégalité néceſſaire, pour que la diſperſion de l'une détruiſe entiérement celle de l'autre. L'Obſervateur n'a beſoin que de s'aſſurer que l'image de l'objet qu'il regarde lui paroît nette, bien terminée, & ſans frange colorée ſenſible ; il eſt facile enſuite de connoître, par le rapport des deux angles, le rapport des deux diſperſions ; cette méthode peut ſeule donner quelque préciſion dans les réſultats, & c'eſt la ſeule à laquelle les Phyſiciens ſe ſoient arrêtés.

On ſent l'impoſſibilité de tailler & de retailler continuellement des priſmes, ou de s'en procurer un aſſez grand nombre de toutes ſortes d'angles, pour ſe flatter de rencontrer le rapport précis entre les angles des deux priſmes, qui ſeul peut anéantir la diſperſion. Cette méthode exige donc abſolument qu'on puiſſe varier à volonté l'angle d'un des deux priſmes qu'on veut comparer. Nous avons déjà vu que les Phyſiciens avoient rempli ce but, en employant un priſme fluide, renfermé entre deux plaques de verre mobiles, & auxquelles on pourroit par conſéquent donner toutes les inclinaiſons poſſibles. C'étoit déjà un très-grand pas; car, quoiqu'on ne puiſſe pas, par ce moyen, comparer directement entre elles les diſperſions de deux milieux ſolides, il eſt toujours aiſé d'en trouver le rapport, en les comparant ſucceſſivement à la diſperſion du même milieu fluide, de l'eau diſtillée, par exemple, qu'on peut prendre pour terme univerſel de comparaiſon. Il faut avouer cependant qu'il eſt difficile de meſurer avec une très - grande exactitude l'angle que forment les deux plaques de ce priſme variable, dont le paralléliſme eſt ſouvent imparfait ; le centre

centre ſur lequel elles ſont mobiles, mal déterminé, & dont l'écartement néceſſairement meſuré par un arc d'un très-petit rayon. Le degré de préciſion, auquel on peut atteindre par cette méthode, eſt donc encore aſſez médiocre; les rapports de diſperſion qu'elle donne ont encore un certain degré d'indétermination; & lorſque celle de deux milieux ne differe que très-peu, cette méthode eſt abſolument inſuffiſante pour reconnoître, & ſur-tout pour meſurer cette différence.

M. Clairaut imagina, en 1761, le moyen de ſe procurer des priſmes variables avec les matières ſolides : il conſiſtoit à tailler en cylindre une des faces de ſes priſmes, ou, ce qui eſt la même choſe, à ſubſtituer au priſme un ſegment, ou la moitié d'un ſegment de cylindre. Le cercle étant regardé comme un polygone d'une infinité de côtés, & par conſéquent le cylindre comme un priſme d'une infinité de faces, chaque ligne ou bande, ſur la longueur du cylindre, forme, avec la face plane oppoſée, un priſme dont l'angle eſt égal à celui que forme avec cette face le plan ſuppoſé tangent à cette ligne; par conſéquent, en faiſant tourner plus ou moins le ſegment cylindrique, pour préſenter

ſucceſſivement ſes différentes bandes au rayon de lumière, on ſe procure des priſmes, dont on fait varier l'angle à volonté.

Cette conſtruction eſt très-ingénieuſe, & digne par-là de l'illuſtre Géomètre à qui on la doit; mais il faut avouer qu'il n'eſt guere plus aiſé de meſurer le degré précis de l'angle qu'on donne au priſme cylindrique, en inclinant plus ou moins ſa ſurface plane, que la grandeur de l'angle qu'on donne aux plaques du priſme fluide, en les écartant plus ou moins: cette méthode n'a donc aucun avantage du côté de la préciſion de l'angle, & elle a de plus un déſavantage particulier, qui vient de ce que la diſperſion de la lumière ne s'y fait pas auſſi réguliérement que dans un priſme à deux faces planes. En effet, la ligne, ſur la longueur du cylindre, ne peut être conſidérée comme la face plane d'un priſme, qu'autant qu'elle eſt abſolument ſans largeur: dès qu'on lui ſuppoſe une largeur ſenſible, ce n'eſt plus un ſimple priſme à deux faces planes qu'on a, c'eſt un aſſemblage de priſmes, qui tous ont des angles différens, & donnent par conſéquent à la lumière une diſperſion différente. Il faudroit donc n'introduire la

lumière ſur le cylindre que par une fente, ſi petite dans le ſens de l'arc, qu'elle ſe confondît ſenſiblement avec la ligne droite, ſauf à lui donner la longueur qu'on voudroit dans le ſens de l'axe du cylindre ; mais ſi on rend cette fente ſi exceſſivement étroite, la décompoſition des couleurs pourra être réelle, & n'être pas obſervable, faute d'une clarté ſuffiſante; tandis que ſi la fente au contraire eſt aſſez large pour laiſſer paſſer plus de clarté, il ſera impoſſible de détruire entièrement la diſperſion, puiſqu'un ſeul des priſmes infiniment petits, compris dans la fente, a l'inclinaiſon néceſſaire pour détruire cette diſperſion, & que les priſmes voiſins ont, par la courbure du cylindre, une inclinaiſon différente.

Un Religieux, nommé le Pere Abat, crut, quelque temps après, perfectionner l'idée de M. Clairaut, en propoſant de ſubſtituer au ſegment de cylindre, un ſegment de ſphère; il trouvoit dans ce changement un grand avantage, par la facilité de l'exécution : en effet, autant il eſt difficile de tailler parfaitement un ſegment cylindrique, autant il eſt aiſé de tailler un ſegment de ſphère ; il ne s'agit que de former dans un baſſin un

verre de lunette plan convexe, opération qu'exécute tous les jours le moindre Lunettier. Mais, bien loin de gagner d'ailleurs pour la facilité de l'observation, la construction du Pere Abat enchérissoit encore sur l'inconvénient de celle de M. Clairaut, dans le segment cylindrique : si l'on est obligé de rétrécir excessivement le passage de la lumière dans le sens de l'arc, on peut du moins lui laisser une longueur illimitée dans le sens de l'axe ; mais dans le segment sphérique, il faut resserrer le passage de la lumière dans tous les sens; chaque petit prisme n'a, pour ainsi dire, que l'étendue d'un point mathématique; la décomposition de la lumière y est donc ou encore plus inobservable, ou encore plus indestructible que dans le prisme de M. Clairaut.

Aussi quelques Physiciens, qui ont voulu employer dans leurs expériences cette construction du Pere Abat, ont-ils été entraînés par elle dans une erreur très importante, n'ayant pas fait attention que la lumière tombant sur une portion sensible, & par conséquent sensiblement courbe de leur segment sphérique, passoit effectivement par différens prismes ; que ces prismes ayant tous des angles différens,

ne pouvoient être rendus tous à la fois achromatiques, par leur combinaiſon avec un ſeul priſme d'un autre milieu; & voyant toujours des couleurs, quelque inclinaiſon qu'ils donnaſſent à leur ſegment, ils ont conclu qu'il étoit impoſſible de les détruire entièrement, & que lorſqu'on parvenoit à détruire les couleurs extrêmes du ſpectre, les couleurs intermédiaires reparoiſſoient, & réciproquement. Cette erreur, ſi elle avoit pu s'enraciner, auroit été funeſte aux progrès de cette partie de l'optique, car elle auroit fait perdre toute eſpérance de faire jamais des objectifs parfaitement achromatiques. Mais les expériences que j'ai faites, me mettent en droit d'aſſurer qu'on peut toujours, avec deux priſmes de différens milieux, détruire toute diſperſion de couleur, & que les couleurs extrêmes paroiſſent ou diſparoiſſent toujours en même temps que les intermédiaires.

J'en ai dit aſſez, pour faire ſentir le peu d'utilité qu'on peut retirer de l'eſpèce de priſme variable, propoſé par le Pere Abat, & même de celui qu'avoit imaginé M. Clairaut.

J'ai propoſé à l'Académie, au mois de Février 1776, la conſtruction d'un priſme

variable de matières ſolides, fondé ſur un principe différent, & qui m'a paru réunir un très-grand nombre d'avantages.

Elle conſiſte à placer l'un ſur l'autre deux priſmes égaux, de façon que les plans qui paſſent par les deux axes de leurs baſes, & qui les coupent en deux ſur leur longueur, ſoient parfaitement parallèles, & à rendre ces deux priſmes mobiles circulairement ſur leur centre.

Quand ces deux priſmes ſont diſpoſés en ſens contraire, de façon que le dos de l'un réponde au tranchant de l'autre, on ſait qu'il n'y a ni réfraction, ni diſperſion, & que le priſme compoſé des deux doit être regardé comme un parallélipipede : quand, au contraire, les deux dos des priſmes & leurs deux tranchans ſont du même côté, chaque priſme produit tout ſon effet, & l'action des deux enſemble eſt égale à la ſomme des actions des deux priſmes pris ſéparément, c'eſt-à-dire, double lorſque les deux priſmes ſont égaux. Or, je puis placer à volonté mes deux priſmes, ſuperpoſés dans l'une ou l'autre de ces ſituations ; il ſuffit, pour cela, de leur faire décrire, par leur mouvement circulaire, une demi - circonférence ou 180 degrés. Si je continue le mouvement, je

les ramène, lorſque la révolution entière eſt achevée, à leur première ſituation; mais il n'eſt pas moins évident que ces deux priſmes ne peuvent parcourir d'un côté ou de l'autre la demi-circonférence ou 180 degrés, ſans paſſer par tous les degrés intermédiaires, & ſans que le priſme compoſé qui en réſulte devienne ſucceſſivement équivalent, quant à l'effet, à tous les priſmes de tous les angles poſſibles, depuis zéro juſqu'à la ſomme des angles des deux priſmes. J'ai donc un priſme variable à volonté dans tout cet intervalle : il eſt très-facile de déterminer l'angle du priſme auquel correſpond mon priſme compoſé, à chaque poſition que je donne aux deux priſmes, dans l'intervalle de zéro à 180 degrés : je n'ai donc beſoin que d'obſerver l'arc que j'ai fait décrire à un de mes deux priſmes, pour les écarter de leur première poſition, ce qui eſt fort aiſé, en les montant ſur deux cercles de cuivre concentriques entre eux, & avec les mouvemens des priſmes.

Un de ces cercles porte une diviſion ſur ſon limbe, l'autre une ſeconde diviſion, ou un index : je peux rendre la diviſion très-ſenſible, en donnant à mes cercles un rayon un peu grand, & je peux

me procurer une précision encore plus grande, en y adaptant un nonius ou vernier. Pour être sûr de la parfaite égalité dans l'angle de mes deux prismes, j'emploie un moyen aussi sûr qu'il est simple; je travaille un seul prisme de grandeur suffisante, que je coupe ensuite en deux.

Outre l'avantage de me procurer des prismes variables dans tous les degrés possibles, & d'en connoître les angles, avec une précision fort supérieure à celle qu'on pourroit obtenir dans les autres méthodes, je trouve dans ma construction un autre avantage inestimable, c'est la facilité de placer ce prisme devant un télescope, d'observer ainsi les effets du prisme, grossis par toute la force amplifiante qu'on peut donner aux télescopes, & de rendre par-là sensibles dans la réfraction ou la dispersion, des différences qui jusqu'ici avoient nécessairement échappé à tous les Observateurs.

Je me suis hâté de mettre à profit un si grand avantage, & de construire, en combinant mon nouveau prisme avec le télescope, l'instrument le plus propre à mesurer la dispersion des couleurs dans chaque milieu transparent; c'est cet usage que j'ai tâché d'exprimer, en donnant à

mon inſtrument le nom de diaſporamètre chromatique, ou ſimplement, pour abréger, de diaſporamètre.

Ce diaſporamètre n'eſt autre choſe, comme je viens de le dire, que mon priſme variable à mouvement circulaire, placé devant l'objectif d'une bonne lunette achromatique : la mécanique qui ſert à faire tourner circulairement les priſmes, pour faire varier à volonté l'angle que repréſente leur poſition, eſt très-ſimple ; elle diffère très-peu de celle qui ſert à mouvoir circulairement le miroir du microſcope ſolaire ; mécanique trop connue, pour qu'il ſoit beſoin de la décrire ici. Je me borne à obſerver que les deux cercles de cuivre, qui aſſujettiſſent les deux priſmes, & qui ſe meuvent avec eux, ſont diviſés en 360°, pour faire connoître la poſition reſpective de ces deux priſmes, & ſervir à déterminer l'angle du priſme compoſé qui réſulte de cette poſition.

Entre le priſme variable & l'objectif de ma lunette, j'ai pratiqué une couliſſe deſtinée à recevoir & à retenir les priſmes de toutes les ſubſtances tranſparentes, dont je veux comparer la diſperſion à celle du verre ordinaire de Saint-Gobin.

C'eſt ce verre que j'ai pris pour terme commun de comparaiſon, & mes deux priſmes qui compoſent mon priſme variable en ſont formés; ils ont chacun cinq degrés; ainſi les 180 degrés que je leur fais parcourir, pour les mettre dans une poſition diamétralement oppoſée, me donnent tous les angles poſſibles depuis zéro juſqu'à 10 degrés. Cela m'a paru ſuffiſant pour déterminer la diſperſion de toutes les ſubſtances connues, ſur-tout l'effet des priſmes étant rendu plus ſenſible par le téleſcope; des priſmes de plus grands angles auroient été trop difficiles à comparer avec ceux de certaines ſubſtances, dont il ſeroit impoſſible de ſe procurer des priſmes d'un grand angle.

Je tâche de donner auſſi aux priſmes des différentes matières dont je veux comparer la diſperſion avec celle du verre de Saint-Gobin, des angles de cinq degrés, ou à peu près. J'ai toujours la précaution de faire tailler avec les priſmes que je veux éprouver, & par la même opération, un priſme de verre de Saint-Gobin, dont la diſpoſition m'étant connue, me ſert de terme de comparaiſon. Communément je fais tailler enſemble des priſmes de pluſieurs matières, qui, par ce moyen,

ont tous le même angle, & le même que le prisme de Saint-Gobin taillé avec eux, & que je leur compare.

L'usage de cet instrument est très-simple : je place dans la coulisse entre l'objectif & le prisme variable, le prisme dont je veux déterminer la dispersion ; regardant ensuite à travers la lunette & les prismes un papier blanc bien éclairé, je varie la position ou l'angle du prisme variable, jusqu'à ce que l'image du papier me paroisse parfaitement distincte & sans frange de couleur. Je prends sur le limbe l'écartement des deux prismes mobiles, j'en conclus l'angle du prisme variable ; & par conséquent le rapport de la dispersion de la matière que j'éprouve a la dispersion du verre.

C'est par une méthode si simple, que j'ai déterminé les dispersions de toutes les substances indiquées dans ma Table ; je ne crois pas nécessaire d'en faire la lecture, le Public l'a sous les yeux, & chacun peut aisément la parcourir ; je me contenterai d'indiquer quelques résultats assez intéressans de mon travail.

Un de ceux qui m'a le plus surpris, & qu'on n'auroit jamais pu reconnoître par une autre méthode, c'est l'inégalité de

la disperſion entre les deux réfractions que donnent différens criſtaux ou pierres tranſparentes ; toutes celles que j'ai examinées, à l'exception du diamant & du ſpath phoſphorique, ont une double réfraction, & les objets vus à travers un priſme de ces matières, paroiſſent doubles.

Or, ces deux images, données par le même criſtal, ne ſont pas ſeulement différemment déplacées par la réfraction, elles ſont encore inégalement colorées par la diſperſion : prenez, par exemple, un priſme de criſtal d'Iſlande, de cinq degrés, & placez-le dans la couliſſe du diaſporamètre, vous éteindrez les couleurs d'une des images, en donnant au priſme variable un angle de 5° 4′ ; mais celles de l'autre image ſubſiſteront : pour les détruire, il faut donner au priſme variable un angle de 7° 50′, qui fera reparoître les couleurs de la première ; ainſi le rapport des angles, & par conſéquent celui des diſperſions de couleurs, ſe trouve dans les deux réfractions du criſtal d'Iſlande, comme 30 à 46, à peu près comme 2 à 3 ; & les deux ſpectres, formés par la double réfraction de ce criſtal, ont une inégalité auſſi grande que celle qui eſt entre le verre

commun & le flintglass; l'inégalité est moindre dans les autres cristaux.

Le diamant, dont la puissance réfractive est si prodigieuse, n'a pas une force dispersive, à beaucoup près proportionnée, puisqu'elle n'est à celle du verre que dans la proportion de 195 à 100, c'est-à-dire à peu près double, tandis que la force réfractive est presque quadruple.

On peut voir encore dans la Table, que la substance qui donne la plus grande dispersion, est celle que les Emailleurs vendent sous le nom de verre d'or, & qui sert pour les émaux rouges; il entre en effet de l'or dans sa composition.

Les substances qui montrent au contraire la moindre dispersion, sont un verre qui m'a été donné par M. le Comte de Sickingen, & dont j'ignore la composition, & un verre fait avec du sable & du borax, qui m'a été donné par M. d'Arcet.

En communiquant à l'Académie ce travail, déjà intéressant, & peut-être suffisant pour le but que je me suis proposé, par rapport au perfectionnement de la dioptrique, je ne dissimule pas que si on l'envisage du côté des vûes que présente la partie physique de l'optique, on ne peut le regarder que comme une simple

ébauche. Il me reſte une foule d'expériences à faire, non ſeulement pour déterminer les réfractions & les diſperſions d'une multitude de ſubſtances, ſoit ſolides, ſoit fluides, en particulier celles des différentes eſpèces d'airs, dont la découverte a ſi fort occupé les Phyſiciens depuis quelques années ; mais encore pour ſuivre les variétés dans les réfractions, & les diſperſions des ſubſtances de différentes natures, plus ou moins peſantes ſpécifiquement, contenant plus ou moins de ſels ou de matières métalliques, plus ou moins chargées ou dégagées du principe de l'inflammabilité. Mais ſi l'Académie daigne encourager mon travail par ſon approbation, je me livrerai, avec courage, à ſuivre cette carrière auſſi loin que mes forces me le permettront.



TABLE de la réfraction & de la dispersion mesurée par le diasporamètre dans différentes substances ; celles qui ont une double réfraction sont indiquées par un astérisque.

RAPPORT du sinus de réfraction à celui d'incidence, qu'on suppose être toujours de mille parties lorsque la lumière passe d'une substance quelconque dans l'air.

	Réfraction.	Dispersion.
Verre de Saint-Gobin.............	1543	100
Crownglass....................	1549	99
Verre de borax, fait par M. Rouelle..	1594	80
—— d'antimoine, fait par M. d'Arcet.	1571	132
—— d'or servant à la couleur rouge de l'émail..................	1715	193
Flintglass, pesant 1260 grains le pouce cube..........................	1613	152
Flintglass, ne pesant que 1196 grains.	1692	145
Strass........................	1630	162
Verre fait par M. Sage..........	1581	99
PIERRES NATURELLES.		
Le diamant....................	2755	192
* Le péridot....................	1830	
* Le cristal de roche............	1561	81
	1575	83
* Le cristal d'Islande...........	1562	113
	1625	156
* Gispe de Montmartre..........	1580	

	Réfraction.	Dispersion.	Degrés du thermometre de Réaumur.
FLUIDES.			
Eau distillée	1333	67	13°
Esprit-de-vin rectifié	1378		
Esprit de nitre fumant	1412	103	
Nitre de zinc	1442	111	
—— de plomb	1373	89	
—— d'antimoine	1362	90	
—— mercuriel	1384	92	
—— mercuriel, avec défaut d'acide	1403	152	
—— de bismuth	1440	129	
—— de cuivre	1385		
—— d'arsenic	1433		
—— de cobalt	1356		
Sel nitreux de fer	1356		
Dissolution de nitre	1349		
—— de nitre quadrangulaire	1375		
—— de nitre à base de Magnésie	1375		
—— de vitriol de fer factice	1364		
—— de vitriol de cuivre	1362		
—— de vitriol de zinc du commerce	1394	81°	
—— de vitriol de zinc factice	1394	.....	13°
Tartre vitriolé pur	1349	60	
Dissolution vitriolique de régule d'antimoine	1336		
—— de vitriol de mercure	1394		
—— de vitriol de bismuth	1369		

	Réfraction.	Dispersion.	Degrés du thermometre de Réaumur.
Vitriol d'étain	1418		
—— de plomb	1407		
Huile de vitriol distillée	1430		
—— de vitriol concentrée.	1420		
—— de vitriol noir	1460		
Esprit de vitriol	1376		
Vitriol de zinc	1396		
—— de cobalt	1350		
Sel marin de plomb	1339	......	11°
—— d'étain	1350		
—— de régule d'antimoine	1338		
—— de zinc	1358		
—— à base calcaire	1413		
—— à base de magnésie.	1371	......	10°
—— à base d'argille.	1380		
Eau saturée de sel marin	1375	82	
Dissolution de sel ammoniac vitriolique	1394		
—— de sel ammoniac nitreux	1387		
—— de sel ammoniac	1382	90	
—— de sel ammoniac acéteux	1339		
—— de sel ammoniac tartareux	1351		
—— de sel d'epsom d'Angleterre	1350		
—— de sel de soude	1352		
—— de sel acéteux de saturne	1338		
—— de sel acéteux calcaire	1339		
—— de sel sédatif	1339		

	Réfraction.	Dispersion.	Degrés du thermometre de Réaumur.
——— de sel végétal....	1358		
——— de sel d'oseille....	1335		
——— de sel de seignette.	1351	......	10°
——— de sel martial naturel..............	1369		
Sel de Glauber..........	1347	65.	
— séléniteux...........	1335		
Dissolution de sel fébrifuge de Silvius...........	1364		
Lessive de sel fixe de tartre.	1377		
Dissolution d'arsenic.....	1334		
Sublimé corrosif.........	1335		
Dissolution d'alun pur....	1338		
Alkali volatil caustique....	1349		
Dissolution d'alkali fixe de tartre...............	1375		
——— d'alkali volatil concret................	1383		
——— de magnésie caustique...............	1335		
——— de tartre stibié...	1334		
Eau de chaux..........	1334		
Dissolution de borax.....	1335		
Terre foliée de tartre.....	1335		
—— foliée de soude.....	1339		
Vinaigre distillé.........	1335	......	10°
Dissolution de crême de tartre..............	1334		
Eau légérement teinte de tournesol...........	1333		

DESCRIPTION
D'UNE *MACHINE* A GRAVER.

ON ſait combien il eſt utile dans les Arts, de ſubſtituer une machine à la main d'un Ouvrier. On gagne toujours beaucoup pour la promptitude, & très-ſouvent pour la perfection du travail : cette conſidération m'a engagé à chercher une machine propre à graver les caractères. J'y trouvois pluſieurs avantages, dont les principaux ſont la diminution du prix de la gravure, & l'économie de ne tirer que la quantité néceſſaire de copies. Enfin, dans les Ouvrages les mieux exécutés au burin, les caractères n'ont ni l'égalité, ni la belle diſpoſition qu'on admire dans quelques éditions imprimées : on ne peut même ſe flatter d'y parvenir que par une machine. Il ne faut pas regarder le moyen de graver les livres, comme uniquement borné à ſatisfaire un goût frivole ; la diminution du prix de la gravure eſt un objet important, pour les planches qui ont rapport aux Sciences & aux Arts, & ſur-tout pour les Plans &

pour les Cartes de Géographie & d'Astronomie, sur lesquelles on graveroit non seulement les lettres, mais les différens signes qui désignent ou les lieux de différentes espèces, ou les étoiles de différentes grandeurs.

Il y a des Ouvrages qui, par leur nature, conviennent à très-peu de personnes, & dont les fautes d'impression sont de grande importance; tels sont, en général, les Ouvrages de Mathématiques, principalement ceux qui renferment de l'Analyse ou des Tables. Si le prix de la gravure n'étoit pas si supérieur à celui de la composition en Imprimerie, il seroit & fort commode & très-économique de graver ces Ouvrages & d'en garder les planches, afin de n'en tirer des exemplaires qu'au besoin.

On pourroit de même employer la gravure pour des états, des mémoires, dont on doit donner des copies à ceux qui occupent successivement certains emplois; & si la gravure se faisoit avec assez de facilité & de célérité, par le moyen d'une machine portative, elle seroit préférable à l'Imprimerie, pour l'impression d'un ordre, d'une relation, d'une instruction, dont il seroit important

de multiplier promptement les copies ; car une Imprimerie, deſtinée à n'imprimer même qu'un très-petit nombre de pages, tient beaucoup de place, à cauſe de ſes acceſſoires, & eſt d'un tranſport peu commode. Enfin, dans les Colonies, & ſurtout dans les armées de terre & de mer, cette machine à graver n'auroit pas, comme l'Imprimerie, l'inconvénient de ne pouvoir être employée que par un homme d'une profeſſion particulière ; d'ailleurs il ſeroit facile de la diſpoſer de manière que ſes opérations n'euſſent aucun dérangement à redouter de l'agitation du vaiſſeau, avantage qu'il me paroît difficile de procurer à l'Imprimerie.

Tels ſont les motifs qui m'ont déterminé à m'occuper de la machine que j'ai l'honneur de préſenter à l'Académie, & dont je donne à la fin de cet Ouvrage les deſſins.

Elle conſiſte en deux roues de cuivre poſées l'une ſur l'autre, & ſéparées par pluſieurs piliers, d'un pouce ou deux de hauteur ; ces deux roues, avec leur intervalle, ſont équivalentes à une ſeule roue d'environ trois pouces d'épaiſſeur : ainſi, pour ſimplifier ma deſcription, je ne les conſidérerai déſormais que comme

une roue qui ſe meut librement ſur ſon axe.

Cette roue eſt percée, vers ſa circonférence, d'un grand nombre de trous carrés ; ces trous ſont les caſes ou coulans d'autant de poinçons d'acier, faits en forme de parallèlepipede, ſur leſquels ſont gravés les lettres ou caractères ; chaque poinçon gliſſe dans ſa caſe ou coulant de haut en bas : c'eſt afin qu'il n'ait aucun mouvement dans les ſens latéraux, qu'il eſt important que la roue ait de l'épaiſſeur, & que les poinçons & leurs caſes ſoient bien calibrés ; chaque poinçon tient à un reſſort qui le ſoulève, de manière que, dans cet état, la roue, armée de ſes caractères, peut tourner librement ſur ſon axe ; & ſi on la fait mouvoir, on verra les poinçons ſe préſenter ſucceſſivement ſous une vis de preſſion. Cette vis de preſſion eſt fixée, de la manière la plus ſolide, ſur le ſupport de la machine, de ſorte qu'une planche de métal, ſoit de cuivre ou d'étain, placée ſous cette vis de preſſion, recevra l'empreinte de tous les poinçons, à meſure qu'on les fera paſſer ſous la preſſe pour leur en faire ſubir l'action.

Or, puiſque la preſſe eſt fixe, chaque

empreinte ſera détruite en partie, ou en totalité, par celle qui la ſuit, ſi la planche reſtoit immobile ; par conſéquent, il faut que la planche deſtinée à recevoir l'impreſſion, puiſſe ſe mouvoir en deux ſens; l'un qui ſert à déterminer l'intervalle des lettres, & à former les lignes ; l'autre mouvement, qui doit être plus ſimple que le précédent, parce qu'il eſt toujours conſtamment le même dans tout un livre, ſert à faire l'intervalle des lignes, & à former les pages.

On conçoit facilement qu'il ſeroit long de chercher, à la circonférence de la roue, le caractère qui doit être conduit ſous la preſſe, parce qu'on eſt obligé de répéter cette opération autant de fois qu'il y a des caractères dans un Ouvrage. J'ai conſidérablement diminué la longueur & l'embarras de cette opération, en plaçant ſur l'axe de la grande roue qui porte les poinçons, une petite roue qui a environ quatre pouces de diamètre, & dont les dents engrainent dans une crémaillère, à laquelle eſt attachée une règle qui ſe meut entre deux couliſſes. Cette règle me donne le développement en ligne droite de la roue dentée qui la fait mouvoir, & m'indique celui de la grande roue qui

porte les poinçons ; car ces deux roues étant concentriques, le développement de la roue dentée, dont le diamètre a été déjà ſuppoſé d'environ quatre pouces, préſentera dans un petit eſpace, qui eſt, dans cet exemple, d'un pied, le tableau fidèle de la poſition reſpective des poinçons, à l'égard de la vis de preſſion. Il ſuffit, pour obtenir cet effet, de placer un index fixe vis-à-vis de la règle mobile, qu'on diviſera de la manière ſuivante. On amènera le poinçon ſur lequel eſt gravée la premiere lettre de l'alphabet, au centre de la vis de preſſion ; on tracera enſuite ſur la règle mobile une diviſion, à laquelle il faut ajouter la figure de la lettre, pour pouvoir la reconnoître : l'index, dont j'ai déjà fait mention, étant placé vis-à-vis & au deſſus de cette première diviſion, ſervira à mettre ſous la vis de preſſion le poinçon, ou plutôt le caractère qui correſpond à la diviſion déſignée ſur la règle, par la figure de la lettre de l'alphabet, ſans qu'on ſoit à l'avenir aſſujetti à regarder, & le lieu de la preſſe, & celui du poinçon : ainſi, dès que les diviſions qui correſpondent à tous les poinçons dont la roue eſt armée, auront été gravées ſur la règle, avec les figures qui les caractéri-

ſent, l'index fixe déterminera tout de ſuite le mouvement qu'il faut imprimer à la roue, pour placer ſous la vis de preſſion les poinçons à meſure qu'on devra les frapper.

Ce tableau, car ce ſera la ſeule dénomination que je donnerai déſormais à la règle & à ſon index, n'a d'autre fonction dans la machine que celle de guider la main de l'Ouvrier, & de lui indiquer quand le poinçon ſera à peu près ſous la vis de preſſion. Une détente ſuffit alors pour achever de le rappeler dans l'exacte poſition où il eſt bon de le fixer.

La détente qui me ſert à cette opération, conſiſte en un reſſort qui tend à pouſſer contre la circonférence de la roue qui porte les poinçons, & dans la direction de ſon diamètre, une pièce d'acier trempé, ayant la figure d'un coin. Ce coin d'acier eſt attaché fixement à un des bras d'une baſcule, & l'autre bras ſert à le maintenir, malgré la force du reſſort, dans une ſituation où il ceſſe de gêner le mouvement de la roue, lorſqu'on a beſoin d'amener un caractère ſous la vis de preſſion; mais à l'inſtant même qu'on ne fait plus d'effort pour retenir le coin d'acier dans la poſition qui laiſſe à la roue

la faculté de tourner, il revient, par l'action du ressort, donner le degré de stabilité & d'immobilité que la roue doit avoir.

Il s'agit maintenant d'expliquer comment la détente, en fixant les caractères, ou, ce qui est la même chose, les poinçons qui les portent en relief, achève de leur procurer la situation qu'il faut qu'ils aient, pour que leur empreinte sur la planche de métal puisse donner à l'impression qu'on en tire sur le papier, des lettres bien alignées; ce rappel exige qu'on fasse autant d'entailles à la circonférence de la roue, qu'il y a de poinçons. Ces entailles doivent être évasées, & avoir une profondeur d'environ un demi-pouce; il est utile qu'elles soient aussi larges que la grandeur de la circonférence de la roue peut le comporter; alors l'arête du coin ne manquera pas de se présenter vis-à-vis une entaille pour s'y insinuer, dès qu'on cessera de le retenir, sans qu'on soit pour cela obligé de placer exactement & même avec soin sous l'index, la division qui correspond sur le tableau au poinçon qu'on veut mettre sous la vis de pression; car cette attention seroit fort préjudiciable à la célérité qu'on doit rechercher, avant tout,

dans le mécanisme de cette machine. Ainsi le coin, quand on le livre à l'action du ressort, entre non seulement avec facilité, & sans exiger aucun soin, dans l'entaille large & évasée que la roue lui présente toujours à sa circonférence, mais encore, en s'y enclavant, il force la roue de se mouvoir jusqu'à ce que les deux côtés de son angle portent sur les deux côtés de l'entaille. La roue a, dans cet état, le degré de stabilité nécessaire; & si les côtés de l'entaille ont été dressés pour que le poinçon qui y correspond occupe sous la vis de pression la vraie position qu'il doit avoir, le coin n'aura pas manqué, en fixant la roue, de la rappeler à sa place, en supposant même qu'elle en fût sensiblement écartée au moment que l'on permet à la détente de partir.

Le moyen dont j'ai cru pouvoir faire usage pour dresser les entailles, est à la portée de tous les Artistes; il exige d'abord qu'on tire l'empreinte de tous les caractères dont la roue est garnie sur une planche de cuivre ou d'étain; on fera mouvoir en ligne droite, & à mesure que chaque poinçon sera imprimé, le support sur lequel la planche est arrêtée, afin que les caractères puissent se ranger les uns

à côté des autres ſans ſe toucher. Or, un parfait alignement ne pouvant dépendre que des entailles, il ſembleroit ſuffiſant de les refendre ſelon la méthode uſitée pour les roues d'horlogerie ; mais à cauſe des inégalités, qu'il eſt bien difficile d'éviter dans la gravure des poinçons, il faudra preſque toujours redreſſer chaque entaille en particulier : on peut avoir facilement le degré de préciſion qu'on jugera convenable, lorſqu'en examinant avec attention l'empreinte des caractères gravés ſur la planche, on en aura reconnu les inégalités, & déterminé les différences par une ligne très-déliée, qui paſſe exactement ſous la baſe de deux lettres ſemblables, aſſez éloignées l'une de l'autre, pour que cette ligne ſoit parallèle au mouvement de la planche. Alors les caractères qu'on examine, au lieu d'avoir leurs baſes ſur la ligne tracée ſous les deux lettres ſemblables qui ſervent d'objet de comparaiſon, la couperont ou s'en ſépareront, & ces inégalités pourront, par ce moyen, être déterminées avec beaucoup d'exactitude. D'après cette détermination, on parviendra promptement à faire diſparoître ces inégalités, ſans qu'il en reſte par la ſuite aucun veſtige : ces corrections ſe font

ſucceſſivement de cette manière ; on lime le côté de l'entaille qui eſt oppoſé au mouvement qu'il faut donner à la lettre ou caractère qu'on ſe propoſe de corriger, & on obſervera ſoigneuſement de n'ôter avec la lime que de très-minces parties à la fois ; cette précaution eſt néceſſaire, afin qu'on puiſſe ſaiſir l'inſtant où l'entaille a ſes côtés tellement diſpoſés, que le coin, en s'y enfonçant, rappelle la lettre dans l'alignement déſiré.

Les détails dans leſquels je ſuis entré, au ſujet de l'alignement des caractères, ne doivent pas faire perdre de vue la grande célérité avec laquelle on place un poinçon quelconque ſous la vis de preſſion, à l'aide du tableau & de la détente ; cette célérité eſt un objet ſi important dans la gravure d'un grand ouvrage, qu'on ne peut rien négliger de tout ce qui tend à l'augmenter. C'eſt pourquoi, au lieu de ſuivre, dans l'arrangement des divers poinçons, l'ordre alphabétique, on doit préférer celui dans lequel la ſomme des différens mouvemens qu'il faut donner à la roue, pour la gravure d'un livre, ſoit la moindre poſſible. On peut très-bien ſe diſpenſer de faire cette ennuyeuſe recherche, en obſervant l'ordre

que les Imprimeurs donnent à leurs cases de caractères, pour que les lettres les plus usuelles soient sous la main de l'Ouvrier.

Si tous les caractères offroient une égale résistance, lorsqu'on veut s'en procurer l'empreinte sur une planche de métal, il faudroit employer une force constante pour les enfoncer toujours de la même profondeur; mais ils sont très-inégaux: par conséquent on doit se servir d'une force variable. C'est communément le marteau, & non une vis de pression, comme dans cette machine, qui sert au plus grand nombre d'Ouvriers pour estamper. Nous supposerons d'abord avoir fait usage du marteau pour frapper les poinçons, afin d'expliquer plus facilement comment nous proportionnons la force du coup, à la résistance plus ou moins grande du caractère : il est évident qu'en laissant tomber le marteau d'une hauteur fixe sur la tête des poinçons, il faut, pour que la force du coup soit variable, suivant la nature des caractères, poser des chapiteaux sur la tête de tous les poinçons; le sommet des chapiteaux est susceptible de hausser à volonté, parce que cette pièce est à vis; ainsi, en proportionnant l'éléva

tion de tous les chapiteaux par expérience, on parviendra à se procurer, par cette méthode, des empreintes également profondes de tous les caractères. Quand, par exemple, la lettre *i* est placée sous le marteau, le sommet de son chapiteau est peu distant de la tête du marteau, afin que sa chute, qui commence toujours au même endroit, frappe foiblement cette lettre; mais quand c'est la lettre *M* qui est amenée sous le marteau, le sommet de son chapiteau étant beaucoup moins élevé que celui de la lettre *i*, recevra un coup beaucoup plus fort; c'est pourquoi les empreintes des lettres *M* & *i* seront toujours également profondes, si, à l'aide de l'expérience, on a une fois bien fixé la hauteur respective des chapiteaux.

J'ai déjà dit que, dans ma machine, c'étoit une vis de pression qui servoit à estamper: j'aurois sans doute pu employer le marteau au même usage; mais cet instrument ébranle trop une machine, surtout lorsqu'elle est faite avec des métaux écrouis. La vis de pression n'a pas le même inconvénient; son effort se fait lentement, & sans occasionner ces ébranlemens subits, si préjudiciables à la précision & à la durée d'une machine; il arrive cepen-

dant que des empreintes de médailles, faites par une vis de pression, se ressentent quelquefois du mouvement circulaire de la vis ; mais on peut éviter ce défaut, en donnant à ses filets une grande inclinaison ; la vis de pression qui me sert est à huit filets, qui sont si inclinés qu'elle tombe dans son écrou, & qu'elle en sort par sa seule pesanteur : cette construction donne le double avantage de préserver les empreintes de l'effet du mouvement circulaire, & par-là, de procurer à la vis une chute de près de neuf lignes pour chaque révolution. La tête de cette vis est solidement fixée au centre d'une roue de cuivre, dont la position est horizontale ; il faut que cette roue ait un assez grand diamètre, pour que son mouvement ne se ressente point sensiblement de l'inégalité dans les frottemens de la vis ; d'ailleurs la pression que cette vis doit exercer l'exige, puisqu'elle dépend non seulement de la force qui fait tourner la roue, mais encore de la longueur de son diamètre.

Il est essentiel que cette roue ait fort peu de vacillation ; c'est pourquoi il importe que l'axe de la vis soit assez prolongé au dessus de la roue, pour qu'il puisse glisser

gliſſer dans une douille fixement attachée au ſupport de la machine ; alors la roue, qui eſt montée perpendiculairement ſur le prolongement de la vis, ſera maintenue, ſans qu'elle puiſſe éprouver de vacillation ſenſible, par la douille & par l'écrou qui l'oblige de deſcendre, ou de s'élever de près de neuf lignes pour chaque révolution qu'elle fait ſur ſon axe.

On conçoit qu'il faut que la vis tombe toujours d'un même point fixe ſur la tête de tous les chapiteaux : or, pour remplir un objet auſſi eſſentiel, il ſuffit de poſer une baſcule ou lévier pareil au fléau d'une balance, de manière qu'une dent, dont une de ſes extrémités eſt armée, porte ſur la circonférence de la roue qui eſt montée ſur la vis de preſſion : le ſupport de la baſcule eſt ſolidement attaché à celui de l'écrou de la vis de preſſion ; cette baſcule ne doit avoir de mouvement que dans le ſens vertical ; il eſt même convenable de ne lui donner que celui qui lui eſt néceſſaire, pour que ſa dent ne manque jamais d'engrainer dans l'entaille pratiquée à la circonférence de la roue, toutes les fois qu'on la remonte à l'endroit où il faut qu'elle ſe trouve toujours, quand la vis commence à deſcendre.

Dans cet état, la roue eſt arrêtée par la dent qui ſe loge dans l'entaille, au moment qu'on la remonte, & toute force qui tendra à la mouvoir ſera ſans effet, ſi on ne peſe pas ſur la queue de la baſcule, pour ſoulever la dent & la dégager abſolument de l'entaille. Dans ma machine, la roue qui a pour axe la vis de preſſion n'achève jamais une révolution : c'eſt afin que la vis n'ait point de chute capable d'ébranler la machine & d'y occaſionner du déſordre, que je me ſuis déterminé à n'employer que les deux tiers de la révolution de la roue, pour eſtamper les poinçons qui préſentent le plus de réſiſtance : ainſi la vis ne tombe que de ſix lignes ſur les chapiteaux les moins élevés, tandis qu'elle deſcend d'environ deux lignes ſur les chapiteaux les plus élevés, d'où l'on voit que la différence de hauteur entre les chapiteaux n'excède point quatre lignes : il eſt palpable qu'une différence ſi peu conſidérable ne peut pas ſuffire pour eſtamper exactement, de la même profondeur, les divers caractères compris, par exemple, depuis la lettre M juſqu'à la lettre *i*, quand la roue qui fait tourner la vis, eſt miſe en mouvement par un poids conſtant, dont la force

n'augmente que comme celle du marteau, par l'accélération de ſa chute.

Il eſt évident qu'en changeant de poids, on parviendroit facilement à ſuppléer aux forces trop diſproportionnées aux différentes chutes qu'on doit ſe permettre ; mais il n'eſt pas poſſible que ce changement perpétuel de poids puiſſe, dans la gravure d'un Ouvrage, s'accorder avec le degré de célérité qu'on recherche.

J'ai donc dû m'occuper de rendre variable l'effet du poids qui fait tourner la vis, en le forçant d'exercer naturellement ſon effort ſur des léviers plus ou moins longs, ſelon les différens degrés de chute qui tiennent aux élévations des chapiteaux; or, pour réunir l'effet de l'accélération à celui des léviers qui s'alongent, en même raiſon, j'ai adopté la conſtruction ſuivante. J'ai lié, par une chaîne d'acier, à la roue qui eſt ajuſtée ſur la vis de preſſion, une ſeconde roue, qui eſt poſée de champ, de manière que les deux roues ſe commandent mutuellement : je leur ai donné un égal diamètre, & à la chaîne ſeulement, la longueur qui ſuffit pour faire un tour entier de l'une ou de l'autre.

C'eſt la ſeconde roue, qu'on appellera déſormais poulie de renvoi, qui eſt deſtinée

à donner à la vis de pression les différens degrés de force dont elle a besoin, pour pouvoir estamper également tous les poinçons. Cette poulie porte, pour remplir cet objet, un limaçon, dont la gorge renferme, dans toute l'étendue de son spiral, une corde, à laquelle est attaché un poids fixé pour graver un certain ordre de caractères; la disposition de ce limaçon est telle, que quand le poids ne descend que d'une quantité très-petite, la partie de la corde qui se développe est fort près du centre de la poulie, par conséquent l'effet du poids est alors très-foible, puisqu'il n'agit qu'au bout d'un fort petit lévier; mais quand la corde se développe en totalité, l'effet du poids est le plus grand possible, puisqu'il a toute la chute qu'il doit avoir, & qu'il agit au bout du lévier le plus long, c'est-à-dire à l'extrémité du limaçon. Cette construction réunit donc des chutes plus ou moins fortes, à des léviers plus ou moins longs, pour frapper les divers poinçons, selon les différentes hauteurs des chapiteaux.

J'ai déjà dit que le support sur lequel la planche est fixée, devoit être mue en ligne droite, afin de former des mots. C'est avec une vis, dont l'axe est invariable,

que je me procure ce mouvement, qui ſert à eſpacer avec préciſion les différens caractères. Son écrou, en avançant ou reculant ſur l'axe de la vis, entraîne le ſupport auquel il eſt fixé, ſans qu'il puiſſe éprouver de déviation, ſi on le maintient par deux couliſſes parallèles à l'axe de la vis; je fais mouvoir cette vis par un lévier qui n'a d'action ſur elle qu'en un ſens. Pour produire cet effet, j'ai attaché au lévier, & à la tête de la vis, une roue, dont les dents ſont tellement inclinées, que le cliquet qui tient au lévier, échappe dans un ſens, & engraine dans un autre; donc le lévier, qui eſt mobile au centre de la roue dentée, fera tourner la vis, ſans que la planche puiſſe éprouver de mouvement retrograde; l'action de ce lévier ſur la vis doit commencer toujours d'un point fixe, mais ſa courſe ne peut être réglée que ſur l'inégale largeur des différens caractères : cette conſidération m'a conduit à fixer ſur le tableau autant de chevilles qu'il y a de diviſions qui correſpondent aux différens poinçons; ces chevilles déterminent la marche du lévier; mais pour cela, il faut que ſa poſition dans la machine ſoit vis-à-vis l'index fixe qui déſigne ſur le tableau que tel caractère eſt

ſous la vis de preſſion ; c'eſt par conſéquent le lévier & la cheville qu'on doit uniquement employer à eſpacer les caractères, & à former les mots & les lignes.

Sans le mouvement que le lévier donne à la planche, les empreintes ſe frapperoient les unes ſur les autres ; ainſi celle de la lettre *i* ſeroit, dans ce cas, détruite en totalité par celle de la lettre *l* : donc, lorſqu'on veut ranger les deux lettres *i* & *l* à côté l'une de l'autre, il faut mouvoir la planche après que la lettre *i* aura été frappée, afin de la ſéparer de la lettre *l*, de la quantité déſirée ; je ſuppoſe qu'on veuille cet eſpace d'un quart de ligne, & que le lévier parcoure un arc de dix degrés, pour faire marcher la planche de cette quantité. Dès que la cheville de la lettre *l* aura la longueur néceſſaire pour que l'arc décrit par le lévier ſoit de dix degrés, l'opération d'eſpacer les deux lettres *i* & *l*, ſe réduira à placer la lettre ſous l'index fixe, & à mouvoir la planche juſqu'à ce que le lévier ſoit arrêté par la cheville de la lettre *l*. On eſpacera également toutes les autres lettres, en exigeant que leur poſition ſur la roue ſoit telle que le dernier jambage d'une lettre quelconque ſe confonde avec une lettre d'un

ſeul jambage, quand on les frappe les unes ſur les autres.

Lorſqu'on veut opérer avec la machine, on retient d'une main la détente, & de l'autre on place la lettre ſous l'index ; alors on abandonnera la détente & la roue, & on fera mouvoir le lévier juſqu'à la cheville de la lettre : le lévier, en tombant ſur ſon repos, délivre la vis de preſſion de la dent qui arrête ſon action, de ſorte que, par ces trois opérations, une lettre quelconque eſt placée, eſpacée & frappée avec autant de préciſion que de célérité. Quant aux intervalles qui ſéparent les mots & les lignes, les mouvemens qui nous les donnent ſont ſi ſimples, qu'il me paroît inutile d'en parler : au reſte, les deſſins qui ſont à la fin de cet Ouvrage, acheveront de développer toutes les pièces qui entrent dans la compoſition de cette machine. Sans M. Franklin, je ne me ſerois peut-être jamais occupé de l'Art de la Gravure ; mais cet homme célèbre piqua ma curioſité, en me montrant des eſſais qu'il avoit faits en Amérique, pour imprimer auſſi vîte qu'on écrit. Le moyen qu'il paroît avoir employé, conſiſte à écrire ſur du papier avec de l'encre gommée ; il ſoupoudre ſon écriture avec

du ſablôn, ou de la pouſſière de fer fondu, tamiſé & pulvériſé, qu'il enferme entre deux planches; l'une de ces planches qui doit recevoir la gravure, doit être de bois ou de métal tendre tel que de l'étain, ou de cuivre; l'autre plaque peut être de pierre dure ou de fer : ces deux plaques, ſoumiſes à l'action d'une preſſe, forceront l'écriture de s'incruſter dans le métal tendre. L'on aura donc la contre-épreuve de ſon écriture ſur la planche de bois ou de métal, & cette planche ſervira, en employant la méthode uſitée par les Graveurs, à donner autant d'exemplaires que la profondeur de la gravure le permettra; car on ſait qu'elle s'uſe au tirage, & qu'elle ne peut jamais être bien profonde.

Si cette méthode remplit l'objet principal qu'on ſe propoſe, c'eſt-à-dire la célérité dans l'exécution, on eſt forcé de convenir qu'elle préſente des copies bien déſagréables à la vue.

J'ai eu recours à un moyen, qui n'a pas le même inconvénient; j'écris ſur une planche de cuivre rouge, verniſſé ſelon la méthode des Graveurs; ce vernis s'enlève avec une pointe d'acier, avec une extrême facilité, & l'on peut écrire avec une pointe ſur une planche verniſſée, auſſi

vîte qu'on écrit ſur le papier avec de l'encre & une plume : on couvre enſuite d'eau-forte, un peu affoiblie, la planche ; on laiſſe l'eau-forte mordre le temps néceſſaire pour incruſter les lettres auſſi profondément qu'on en a beſoin ; cette planche eſt alors gravée, & on tire, par le moyen de la preſſe à rouleau, autant de copies ou d'épreuves qu'on en peut déſirer.

Toutes ces copies ou épreuves ſont ſur le papier à contre-ſens, de ſorte qu'elles deviendroient par-là inutiles. Mais pour les avoir dans le ſens qu'on déſire, rien n'eſt plus facile : je tire, par exemple, douze copies, & tandis que l'encre eſt encore fraîche, je mets autant de feuilles de papier blanc, mouillé & préparé, & je les diſpoſe en tas, de manière que chaque feuille de papier blanc ſépare alternativement les copies : alors, d'un ſeul coup de preſſe, j'obtiens douze contre-épreuves, qui ſeront très-propres & très-liſibles, quand même la planche n'auroit pas été bien eſſuyée, pourvu toutefois que la gravure ſoit aſſez profonde, pour fournir à la copie le degré de noir ſuffiſant pour donner de bonnes contre-épreuves. Cette méthode n'équivaudra jamais ſans doute à la gravure ; mais elle peut être fort utile

dans les armées de terre & de mer, & dans tous les cas où il s'agit de multiplier promptement les copies.

EXTRAIT

Des Registres de l'Académie Royale des Sciences, du 22 Décembre 1781.

NOUS, Commissaires nommés par l'Académie, avons examine une machine à graver les caractères, présentée par M. l'Abbé Rochon.

Les caractères qu'on veut graver sont disposés en cercle sur une roue mobile, & amenés successivement sous une vis de pression, qui les gravent sur une planche d'étain. L'Auteur a imaginé différens moyens, soit pour porter avec célérité le caractère qu'on veut sous la vis de pression, soit pour les y fixer exactement, soit pour rendre variable l'action de cette vis, & la proportionner à l'étendue de la lettre qu'elle doit graver, afin que les creux des différentes lettres soient également profonds.

La planche a un double mouvement; l'un destiné à espacer les lettres & les mots; l'autre à espacer les lignes. Ces mouvemens s'exécutent de manière qu'on puisse aisément mettre, entre les lettres, les mots ou les lignes, les distances qu'on jugera convenables, & que ces distances aient entre elles l'égalité la plus parfaite. La différente largeur des lettres étoit ici un obstacle : en effet, on sent que pour que ces espaces soient égaux, il faut qu'ils ne soient pas constans; mais formés par un espace constant, plus un autre espace variable, proportionnel à la largeur de chaque lettre. La beauté de l'impression exige encore que ces espaces soient quelquefois un peu altérés, afin que la justification soit parfaite, c'est-à-dire que les fins de lignes présentent à l'œil une ligne bien continue, & la machine de M. l'Abbé Rochon en donne le moyen.

Elle nous a paru réunir plusieurs avantages. 1°. On exécutera, avec cette machine, des éditions gravées, supérieures à celles qu'on peut se procurer, en gravant à la main, quelle que soit l'habileté de l'Ouvrier; & ces éditions se feront avec beaucoup plus de célérité & beaucoup moins de dépense. 2°. Comme la machine est portative & peu volumineuse, elle peut être très utile dans les armées, dans les flottes, dans les Bureaux, pour l'impression d'ordres, d'instructions, &c. 3°. Elle a de plus l'avantage précieux, dans plusieurs circonstances, de pouvoir être employée par tout homme intelligent & adroit, sans qu'on soit obligé d'avoir recours à un Ouvrier d'une profession particulière.

Enfin, elle a sur l'impression l'avantage de permettre d'attendre, pour tirer un Ouvrage, qu'il ait été exécuté en entier; la dépense des planches même pour un Ouvrage considérable étant très-peu de chose. Et cette liberté qu'elle offre aux Auteurs peut être d'une grande importance pour les Ouvrages, où l'ordre, la méthode, la liaison des idées sont un mérite nécessaire.

Ainsi, quand même, ce que l'expérience peut seule apprendre, elle ne pourroit ni acquérir la même célérité que l'Imprimerie, ni une égale facilité pour les remaniemens & les corrections; elle seroit encore d'une grande utilité.

Nous croyons donc que l'idée de cette machine étant nouvelle, les moyens employés à lui donner la perfection à laquelle l'Auteur l'a déjà portée, étant simples & ingénieux, & son usage pouvant être utile, elle est digne de l'approbation de l'Académie, & que la description de cette machine, exécutée avec la machine même, & présentée par l'Auteur à l'Académie, mérite de paroître sous son privilège.

Fait au Louvre, ce 22 Décembre 1781, le Marquis DE CONDORCET, BOSSUT.

Je certifie le présent Extrait conforme à l'original, & au jugement de l'Académie. A Paris ce 22 Décembre 1781.

Le Marquis DE CONDORCET.

ESSAI

SUR LES DEGRÉS DE CHALEUR DES RAYONS COLORÉS.

NOUS nous bornons à examiner, dans ce Mémoire, si les rayons qui différent en réfrangibilité, produisent sur le thermomètre des degrés de chaleur sensiblement différens.

Cette recherche exige, sans doute, que les couleurs soient distinctes & bien séparées; mais cette analyse ne peut se faire sans diminuer prodigieusement l'intensité de la lumière, & la lumière ainsi décomposée, ne donne plus de signe sensible de chaleur sur nos thermomètres ordinaires.

Il faut donc se résoudre, ou à rassembler, sur la boule d'un thermomètre, une quantité suffisante de ces rayons pour produire des effets sensibles, ou employer des thermomètres d'une sensibilité proportionnée à la perte d'intensité, inséparable de la lumière ainsi décomposée. On peut toujours rassembler, dans un petit espace, une grande quantité de rayons, d'une couleur sensiblement homogène,

ſoit en diſpoſant, d'une manière convenable, pluſieurs priſmes de différens angles, qui faſſent coïncider ſur la boule d'un thermomètre chaque eſpèce de rayons, ou en ſe ſervant du miroir ardent de M. de Buffon, connu ſous le nom de miroir d'Archimède, dont la ligne brûlante eſt ſenſiblement la même dans un eſpace aſſez conſidérable.

Cet inſtrument eſt un aſſemblage de petits miroirs plans, qui, par les poſitions reſpectives, peuvent faire tomber ſur un priſme, placé à leur foyer commun, une auſſi grande quantité de lumière qu'on le déſire. Or, les rayons réunis qui forment ce foyer, ou plutôt cette ligne brûlante, approcheront d'autant plus du parallèliſme néceſſaire au ſuccès de l'expérience en queſtion, que la diſtance du priſme aux miroirs ſera plus conſidérable.

On ſent que ce moyen exige un très-grand emplacement; & celui deſtiné aux expériences que je vais rapporter, n'étant pas d'une grandeur convenable, j'ai penſé que des thermomètres très-ſenſibles rempliroient aſſez bien l'objet que je me ſuis propoſé.

Les thermomètres à air ſont ceux que j'ai employés. On ſait qu'ils doivent leur

effet à une bulle d'air, introduite dans la boule qui renferme la liqueur ; la plus légère chaleur dilate cette bulle, qui fait monter l'esprit-de-vin dans le tuyau capillaire du thermomètre ; mais cette ascension seroit peu sensible, si le haut du tube étoit scellé hermétiquement : on est donc contraint de le laisser ouvert, ce qui fait que l'air extérieur, susceptible de beaucoup de variations, agit sur la liqueur, en sorte qu'il faut avoir recours au baromètre pour connoître l'effet de la dilatation, qui se trouve joint au ressort plus ou moins fort de l'air extérieur.

Ce défaut, joint à l'évaporation de la liqueur, a fait rejeter ces thermomètres, malgré leur prodigieuse sensibilité. Quoique je n'aye pas, dans mes recherches, ces inconvéniens à redouter, puisqu'il me suffit de comparer, dans un espace de temps très-court, les divers effets de chaque espèce de rayons, j'ai cependant cherché à l'éviter, en faisant souder au tube du thermomètre, un gros ballon rempli d'air, lequel renferme un thermomètre ordinaire. Ce ballon est plongé dans un fluide, d'une température dont on maintient facilement l'uniformité, soit qu'on la veuille au terme de la congélation,

ou à tout autre degré de température.

Ce moyen laiſſe à ce thermomètre preſque toute ſa ſenſibilité, ſans qu'il communique avec l'air extérieur.

On ſent qu'il faut, pour des expériences auſſi délicates, un ciel parfaitement ſerein, & une température conſtante, ſans la moindre agitation dans l'air ; ce qui réduit néceſſairement les expériences, ſur leſquelles on peut ſtatuer, à un très-petit nombre ; encore dans le grand nombre de celles que j'ai faites, j'avoue que je n'en ai aucune dont je ſois parfaitement ſatisfait.

Je me ſuis ſervi d'un grand priſme de flintglaſſ, dont l'angle réfringent eſt de 45 degrés ; je ne laiſſois paſſer qu'une égale quantité de rayons, qui, ſucceſſivement, traverſoient la même lentille que j'inclinois ſelon la hauteur du ſoleil, car je n'avois pas alors d'hélioſtat, & la privation de cet inſtrument a rendu mes réſultats encore moins précis.

Toutes mes expériences ont été faites entre onze heures du matin & deux heures après-midi : mon thermomètre à air étoit trop ſenſible, pour pouvoir en approcher, ſans occaſionner des variations ; de ſorte que j'obſervois les diviſions par une petite lunette, à la diſtance de quinze pieds, &

je faisois hausser ou baisser les index, par le moyen de poulies de renvoi.

Quoique j'aye fait, dès l'année 1775, un grand nombre d'expériences, je ne crois pas devoir les rapporter, parce qu'alors je n'étois pas parvenu à connoître les précautions nécessaires à des recherches aussi délicates ; celles faites en 1776, sont plus concluantes ; elles donnent le rapport de chaleur des rayons rouges aux rayons violets, de 8 à 1 ; car en échauffant pendant deux minutes la boule du thermomètre par ces deux espèces de rayons, l'index marquoit depuis quatre divisions & demie jusqu'à sept, pour les rayons violets, tandis que, pour les rayons rouges, il falloit placer l'index depuis 39 jusqu'à 44 divisions. Ces observations ont été faites dans le mois de Juin, le thermomètre de Réaumur ne variant, dans tout l'intervalle des observations, que depuis 16° jusqu'à 17°. Voici les observations de ce mois : violet $4\frac{1}{2}$, rouge 4 violet 6, rouge 40, violet $4\frac{1}{2}$, rouge 43 violet $5\frac{1}{2}$, rouge 39, violet 7, rouge 44 Il est à remarquer que c'est le rouge tiran sur l'oranger, & le violet tirant sur le ble dont je me suis servi. Il est si difficile de décomposer assez parfaitement la lumière pou

pour obtenir conſtamment les mêmes nuances de couleurs, qu'on ne peut pas être ſurpris des variations que j'ai éprouvées, quoiqu'elles ſoient conſidérables.

Mois de Juillet 1776, le thermomètre n'ayant varié, pendant la durée des expériences, que de 18° à 20°.

Violet 3, vert 31, rouge 38, violet $4\frac{1}{2}$, vert 39, rouge 40, violet $3\frac{3}{4}$, vert $27\frac{1}{2}$, rouge 37, violet 5, vert 30, rouge $36\frac{1}{2}$, violet 6, jaune orangé 49, vert 33, rouge 40, violet 7, jaune orangé 52, vert $34\frac{1}{2}$, rouge $39\frac{1}{2}$, violet $6\frac{1}{2}$, jaune orangé 48, vert 36, rouge 45, violet 8, jaune orangé 64, vert 48, rouge 60.

Dans le mois d'Août, le thermomètre de Réaumur a monté depuis 19° juſqu'à 23, pendant les obſervations ſuivantes.

Violet 7, orangé 60, vert 43, rouge 56, violet 6, jaune orangé 62, vert 39, rouge 55, violet 7, orangé 38, vert 45, rouge 64, violet 5, orangé 51, vert 39, rouge 48.

C'eſt en Septembre que je me ſuis ſervi du thermomètre (*fig.* 30.), ſur lequel l'air extérieur n'a aucune influence; la bulle d'air a toujours été pareillement expoſée deux minutes à l'action des rayons colorés, comme dans les expériences précédentes;

mais la ſenſibilité du thermomètre n'a plus été auſſi grande.

Dans le mois de Septembre, le thermomètre de Réaumur a varié, depuis 19 jusqu'à 16 degrés, pendant la durée des obſervations.

Violet 2, jaune orangé 18, vert 13, rouge 17, violet 2, orangé 17, vert 14, rouge 18, violet $2\frac{1}{2}$, orangé 22, vert 16, rouge 21, violet $2\frac{1}{2}$, orangé 20, vert 16, rouge 22, violet 6, rouge 40, violet 4, rouge 42, violet $5\frac{1}{2}$, rouge 39, violet $7\frac{3}{4}$, rouge 44, violet 3, vert 31, rouge 38, violet $4\frac{1}{2}$, vert 29, rouge 40, violet $3\frac{3}{4}$, vert $27\frac{1}{2}$, rouge 37, violet 5, vert 30, rouge $36\frac{1}{2}$, violet 6, orangé 49, vert 33, rouge 40, violet 7, jaune orangé 52, vert $34\frac{1}{2}$, rouge 39, violet $6\frac{1}{2}$, orangé 48, vert 36, rouge 42, violet 6, orangé 50, vert 35, rouge $43\frac{1}{2}$.

Il réſulte de toutes ces expériences, malgré les grandes différences qui s'y trouvent, quelque attention que j'y aye apportée; 1°. que le rapport de chaleur du rouge clair au violet le plus vif, eſt à peu près comme 8 à 1, car les rayons extrêmes ne peuvent pas ſe comparer; 2°. que la chaleur du jaune orangé diffère peu de celle que produit le rouge;

de ſorte qu'il eſt à préſumer que les rayons les plus chauds ſont entre le rouge clair & le jaune, & de ce point la chaleur des rayons diminue conſidérablement plus du côté du violet, que de celui du rouge foncé.

J'ai voulu me ſervir de liqueurs & de verres colorés ; mais les liqueurs & les verres colorés tranſmettent en trop grande quantité des rayons hétérogènes, pour être employés avec ſuccès à des expériences auſſi délicates ; d'ailleurs, comment eſtimer les rayons réfléchis ou perdus dans ces ſubſtances ? Au reſte, quoique j'aye pris toutes les précautions qui ont dépendu de moi, pour le ſuccès de ces expériences, je ſuis bien éloigné d'être encore ſatisfait de mon travail.

RÉFLEXIONS

Sur les Lunettes achromatiques.

Un verre convexe peut être conſidéré comme un aſſemblage de priſmes infiniment petits, dont les angles vont progreſſivement en diminuant des bords au centre : ces petits priſmes de différens

angles font converger ou diverger la lumière, ſelon que les verres ſont convexes ou concaves ; car il eſt palpable que le centre, ou plutôt le milieu d'un verre convexe ou concave, tranſmet le rayon de lumière, ſans changer ſa direction, puiſque les deux tangentes, tirées de ce point, ſont parallèles entre elles : mais cet effet n'a lieu que dans ce ſeul point ; dès qu'on s'en écarte, les tangentes des ſurfaces deviennent inclinées l'une à l'autre, & cette inclinaiſon eſt donnée par l'arc de la ſphère, compris depuis le point du milieu du verre juſqu'au point d'incidence du rayon ; cet arc eſt encore égal à l'inclinaiſon de la tangente, par rapport au plan du verre plan convexe, & ſi cet arc eſt d'un degré, on aura à ce point un priſme infiniment petit, repréſenté par la tangente de l'arc d'un degré, & par la ſurface plane du verre.

Or, la réfraction qui a lieu dans un priſme de verre d'un angle d'un degré, eſt, comme nous l'avons déjà dit, environ un demi-degré ; d'où il ſuit que les rayons parallèles qui tomberont ſur ce verre, ſe réuniront à peu près à deux pieds de la ſurface du verre, puiſqu'alors la réfraction de chaque petit priſme ſera, à cette diſtance, égale à peu près à la moitié de

l'angle de chaque prisme : on sent que cette réunion ne peut pas être parfaite, & quelle tient à la réfraction de chaque substance en particulier, & à la figure sphérique des verres. Les Opticiens nomment ce défaut de réunion, aberration de sphéricité ; celle qui tient à la décomposition de la lumière, se nomme aberration de réfrangibilité. La géométrie donne le moyen de rendre l'aberration de sphéricité presque insensible, en multipliant les verres; & nos expériences sur la dispersion indiquent les substances à employer, & les angles qu'il faut leur donner pour obtenir des prismes parfaitement achromatiques, & par conséquent des verres objectifs parfaitement achromatiques. Je crois qu'il est avantageux de traiter les verres sphériques, comme des prismes, parce que cette méthode est plus générale que celle employée jusqu'à présent par les Opticiens, & susceptible d'une plus grande précision dans le résultat des calculs qui servent à guider les Artistes dans la construction des lunettes : mais avant de m'occuper de ce travail, il est indispensable que je m'assure de la loi que la réfraction suit dans les différentes incidentes. On s'est contenté d'employer celle des sinus;

mais les expériences qui l'ont donnée ne me paroiſſent pas avoir le degré de préciſion néceſſaire pour des recherches auſſi délicates ; M. d'Alembert eſt abſolument de ce ſentiment, & c'eſt d'après les conſeils de ce grand Géomètre, que je me ſuis livré à ce travail, qui exige l'exactitude la plus ſcrupuleuſe, & des précautions infinies ; dès qu'il ſera achevé, je le publierai, avec un Mémoire détaillé ſur les lunettes achromatiques ; mais en attendant ce travail, je vais mettre ſous les yeux du Lecteur les anciennes formules que j'ai données en 1768 *dans mes Opuſcules Mathématiques*, & j'y joindrai quelques réflexions ſur les moyens que j'ai employés pour parvenir à faire une lunette achromatique de ſept pieds, à triple objectif.

Soit A (*fig.* 31.) un point lumineux qui envoie des rayons ſur une lentille BED ; ſoit F le foyer des rayons qui tombent infiniment près de l'axe, comme AB & x : celui des rayons qui, comme AE, tombent à une aſſez petite diſtance de l'axe ; ſoit auſſi le foyer des rayons parallèles $= f$; le rayon BL de la ſurface antérieure $= r$; le rayon CD de la ſurface poſtérieure $=$ R ; ſoit encore $\frac{1}{m}$, le rapport du ſinus de l'angle

d'incidence de réfraction, en entrant de l'air dans la lentille; l la demi-ouverture de la lentille, d la distance de l'objet à la lentille. La Géométrie nous donne * $x = F - \frac{F^2 l^2}{2 f^2} \times \Big(\frac{1}{\overline{1-m}^2 f} - \frac{3 + 2m}{\mathrm{d} + F} - \frac{2(1+m)}{\mathrm{d}+F} \left(\frac{\mathrm{d}}{r} + \frac{F}{R} \right) - \frac{m(1+2m)}{(1-m)(r+R)} \Big)$, dans laquelle expression $\frac{1}{F} = \frac{1-m}{m} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right) - \frac{1}{\mathrm{d}}$, & $\frac{1}{f} = \frac{1-m}{m} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right)$; d'où on déduit $\frac{1}{F} - \frac{1}{f} - \frac{1}{\mathrm{d}}$. Cette valeur de x n'est qu'une approximation qui a d'autant plus d'exactitude, que l est une quantité plus petite relativement à r & R.

* Voici comment se trouve cette expression. Soient A (*Fig.* 31.) un point rayonnant, situé sur l'axe AL d'une surface sphérique réfringente BE, dont L est le centre & BL le rayon; AE un rayon qui tombe assez près de l'axe AB pour qu'on puisse regarder & traiter comme assez petits les angles BAE, BLE; EI, le rayon rompu qui rencontre l'axe en I. Soient abaissées les perpendiculaires LD, LC sur les rayons AE, EC, & soient $AB = \mathrm{d}$, $BL = r$, l'angle $BLE = x$, & le rapport des *sinus* des angles d'incidence & de réfraction LED, LEC, comme 1 à m. Donc m *sin.* $LED =$ *sin.* LEC. Si donc on nomme u le *sinus* LD pour le rayon r, on aura le *sinus* $LC = mu$. Il est visible de plus que $OL = r \cos. x$; en sorte que $BO = r(1 - \cos. x)$. Mais le *sinus* verse BO, étant très-petit par rapport à $2r$, on a $BO : OE :: OE : 2r$; donc $OE^2 = 2r \times BO = 2r^2(1 - \cos. x)$. Mais $AE = \sqrt{((AB + BO)^2 + OE^2)}$; on aura donc $AE = \sqrt{[(\mathrm{d} + r(1-\cos. x))^2 + 2r^2(1-\cos. x)]} = \sqrt{[\mathrm{d}^2 + 2r\mathrm{d}(1-\cos. x) +}$

$2 r^2 (1 - cos. x)$], en négligeant dans le carré de $d + r (1 - cos. x)$, le terme $r^2 (1 - cos. x)^2$, à cause de son extrême petitesse. Si l'on fait $d + r = p$ $A E$ sera $= \sqrt{[d^2 + 2 r p (1 - cos. x)]}$.

Les triangles semblables $A O E$, $A L D$ donnent $\frac{L D}{L A} = \frac{O E}{A E}$: donc $O E$ étant $= r \, sin. \, x$, on a $\frac{u}{p} = \frac{r \, sin. \, x}{\sqrt{[d^2 + 2 r p (1 - cos. x)]}}$. Maintenant $sin. \, L I C = \frac{L C}{L I}$; mais $sin. \, L I C = sin. \, (B L E - L E C) = sin. \, B L E \, cos. \, L E C - sin. \, L E C \, cos \, B L E$; donc $\frac{L C}{L I} = sin. \, B L E \, cos. \, L E C - sin. \, L E C \, cos. \, B L E$. Mais $sin. \, B L E = sin. \, x$; $cos. \, L E C \sqrt{(1 - sin. \, L E C^2)} = \sqrt{[1 - \frac{m^2 p^2 sin. \, u}{d^2 + 2 r p (1 - cos. x)}]}, = \ldots\ldots\ldots \frac{\sqrt{[d^2 + 2 r p (1 - cos. x) - m^2 p^2 sin. x^2]}}{\sqrt{[d^2 + 2 r p (1 - cos. x)]}}$, $sin. \, L E C$ étant $= \frac{m u}{r} = \frac{m p \, sin. \, x}{\sqrt{(d^2 + 2 r p (1 - cos. x))}}$; $cos. \, B L E = cos. \, x$. Donc$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

$$\frac{L C}{L I} = \frac{sin. x \sqrt{[d^2 + 2 r p (1 - cos. x) - m^2 p^2 sin. x^2]}}{\sqrt{[d^2 + 2 r p (1 \; cos. x)]}} - \frac{m p \, sin. \, x \, cos. \, x}{\sqrt{[d^2 + 2 r p (1 - cos. x)]}}$$

Mais $L C = \ldots\ldots \frac{m p r \, sin. \, x}{\sqrt{[d^2 + 2 r p (1 \; cos. x)]}}$. Donc $L I = \ldots\ldots\ldots\ldots$

$$\frac{m p r}{\sqrt{[d^2 + 2 r p (1 - cos. x) - m^2 p^2 sin. x^2]} - m p \, cos. x}$$

Donc $B I = r + L I = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

$$\frac{r \sqrt{[d^2 + 2 r p (1 \; cos. x) - m^2 p^2 sin. x^2]} - m p r \, cos. x + m p r}{\sqrt{[d2 + 2 r p (1 \; cos. x) - m^2 p^2 sin. x^2]} - m p \, cos. x}$$

$$= \frac{1}{\frac{\sqrt{[d^2 + 2 r p (1 - cos. x) - m^2 p^2 sin. x^2]} - m p \, cos. x}{\sqrt{[d^2 + 2 r p (1 - cos. x - m^2 p^2 sin. x^2]} + m p r (1 \; cos. x)}}$$

Si dans cette formule on met pour *cos.* x sa valeur approchée $1 - \frac{\sin. x^2}{2}$, & qu'on néglige les quatriemes puissances de $\sin. x$, BI deviendra ....

$$= \frac{1}{\frac{\sqrt{[d^2 + (rp - m^2 p^2)\sin. x^2]} - mp + \frac{1}{2} mp \sin. x^2}{r\sqrt{[d^2 + (rp - m^2 p^2)\sin. x^2]} + \frac{1}{2} mpr \sin. x^2}};$$

mais $\sqrt{[d^2 + (rp - m^2 p^2)\sin. x^2]}$ est, à très-peu près, $= \frac{2 d^2 + rp \sin. x^2 - m^2 p^2 \sin. x^2}{d^2}$; donc BI sera .....

$$\frac{1}{\frac{2 d^2 - mpd + rp \sin. x^2 - m^2 p^2 \sin. x^2 + mpd \sin. x^2}{2 r d^2 + r^2 p \sin. x^2 - m^2 p^2 \sin. x^2 + mprd \sin. x^2}}$$

$=$ (en faisant la division, & négligeant les quatriemes puissances de $\sin. x$) $1 : \left[\frac{1}{r} - \frac{mp}{rd} + \frac{mp^2 \sin. x^2}{2 d^3} + \frac{m^2 p^2 \sin. x^3}{2 d^2 r} - \frac{m^3 p^3 \sin. x^2}{2 d^3 r}\right] = 1 : \left[\frac{1-m}{r} - \frac{m}{d} + \frac{m(d+r)^2 \sin. x^2}{2 d^3} + \frac{m^2 (d+r)\sin. x^2}{2 d^2 r} - \frac{m^3 (d+r)^3 \sin. x^2}{2 d^3 r}\right]$, en remettant à la place de p sa valeur $d + r$.

Si on fait $OE = l$, on aura $\sin. x = \frac{l}{r}$; ainsi on aura $\frac{1}{BI} = \frac{1-m}{r} - \frac{m}{d} + \frac{m l^2 (d+r)^2}{2 d^3 r^2} + \frac{m^2 l^2 (d+r)^2}{2 d^2 r^3} - \frac{m^3 l^2 (d+r)^3}{2 d^3 r^3}$.

Si dans cette valeur de BI on fait $l = 0$, on aura alors le foyer des rayons qui tombent infiniment près de l'axe; si donc on nomme f la distance de ce foyer à la surface réfringente, on aura $\frac{1}{f} = \frac{1-m}{r} \frac{m}{d}$; substituant dans la valeur de BI, $\frac{1}{f}$ à la place de $\frac{1-m}{r} - \frac{m}{d}$, on aura $\frac{1}{BI} = [2 d^3 r^3 + mrl^2 f(d+r)^2 + m^2 l^2 d$

$(d+r)^2 - m^3 l^2 f(d+r)^3]:[2 f d^3 r^3]$. Donc $BI = [2 f d^3 r^3]:[2 d^3 r^3 + m r l^2 f(d+r)^2 + m^2 l^2 d f(d+r)^2 - m^3 l^2 f(d+r)^3] =$ (en faisant la division, & négligeant les termes où entre l^4) $f - \frac{m l^2 f^2 r (d+r)^2}{2 d^3 r^3} - \frac{m^2 l^2 f^2 d (d+r)^2}{2 d^3 r^3} + \frac{m^3 l^2 f^2 (d+r)^3}{2 d^3 r^3} = f - \frac{f^2 l^2}{2} \times \frac{mr + m^2 d - m^3 (d+r)}{dr} \times \left(\frac{d+r}{dr}\right)^2 = f - \frac{1}{2} f^2 l^2 m (1-m) \left(\frac{1+m}{d} + \frac{m}{r}\right)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d}\right)^2$, expression du foyer des rayons, qui étant partis du point *A*, rencontrent la surface réfringente *B E* à une distance *l* de l'axe de cette surface.

Supposons maintenant un peu au delà de la surface *B E* une seconde surface *D E* qui termine le milieu dans lequel les rayons sont entrés, en sorte que ce milieu forme une lentille convexe *B E D*; voici comment on trouvera le foyer qu'auront les rayons après avoir traversé cette lentille : nous supposons toujours qu'ils la rencontrent à la distance *l* de son axe *A H*. Nommons *B I* ou *D I*, *q*, en négligeant l'épaisseur *B D* de la lentille, qui ne peut être que très-petite, & soit le rayon *D C* de la surface $DE = R$. Le rapport de réfraction, en sortant de la lentille, étant exprimé par celui de *m* à 1, & les rayons tombant convergens sur la surface *D E*, on aura, en supposant que *G* soit le foyer cherché, & que F marque la distance du foyer de rayons qui tomberoient sur la surface *D E*, infiniment près de l'axe, avec des directions tendantes en *I*, $DG = F - \frac{1}{2} F F l l \frac{1}{m}\left(\frac{1-m}{m}\right)\left(\frac{1+m}{mq} + \frac{1}{mr}\right)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{q}\right)^2$, F étant déterminée par l'équation $\frac{1}{F} = \frac{1-m}{mR} + \frac{1}{mq}$.

Si on regarde l'épaisseur *B D* de la lentille comme infiniment petite, la distance *F* du foyer des rayons qui

tombent infiniment près de l'axe, est exprimée par cette équation $\frac{1}{F} = \frac{1-m}{mR} + \frac{1}{m\,f}$. Donc q différent très-peu de f, on pourra mettre dans le second terme de la valeur de DG, qui est très-petit, F à la place de F, & f à la place de q. De plus, au lieu de F qui forme le premier terme, on pourra écrire F moins la petite quantité dont F surpasse F. Or cette petite différence est $(f-q) \times \frac{FF}{m\,ff} = \frac{1}{2}FFll(1-m)\left(\frac{1+m}{d}+\frac{m}{r}\right)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{d}\right)^2$;

donc on aura $DG = F - \frac{1}{2}FFll\left((1-m)\left(\frac{1+m}{d} + \frac{m}{r}\right)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{d}\right)^2 + \left(\frac{1-m}{m}\right)\left(\frac{1+m}{m\,f}+\frac{1}{mR}\right)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{f}\right)^2\right) = F - (1-m)FFll\left(\left(\frac{1+m}{d} + \frac{m}{r}\right)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{d}\right)^2 + \left(\frac{1+m}{F}+\frac{m}{R}\right)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{F}\right)^2\right)$,

en introduisant $\frac{1}{F}$ à la place de $\frac{1}{f}$, au moyen de l'équation $\frac{1}{F} = \frac{1-m}{mR} + \frac{1}{m\,f}$. Faisant les multiplications indiquées, on aura $DG = F - \frac{(1-m)FFll}{2}\left(m\left(\frac{1}{r^3} + \frac{1}{R^3}\right) + (1+3m)\left(\frac{1}{drr} + \frac{1}{FRR}\right) + (2+3m)\left(\frac{1}{ddr} + \frac{1}{FFR}\right) + (1+m)\left(\frac{1}{d^3} + \frac{1}{F^3}\right)\right)$.

Or on trouve au moyen de l'équation $\frac{1-m}{m}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) = \frac{1}{F} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$, f désignant la distance focale de la lentille; on trouve, dis-je, $\frac{1}{r^3} + \frac{1}{R^3} =$

$\frac{m}{(1-m)f}\left(\frac{m^2}{(1-m)^2 ff}-\frac{3m}{(1-m)f(r+R)}\right)$,

$\frac{1}{\mathrm{d}rr}+\frac{1}{FFR}=\frac{m}{(1-mf)}\left(\frac{1}{\mathrm{d}r}+\frac{1}{FR}-\frac{1}{f(r+R)}\right)$,

$\frac{1}{\mathrm{dd}r}+\frac{1}{FFR}=\frac{m}{(1-m)f}\left(\frac{1-m}{m}\times\left(\frac{1}{\mathrm{d}r}+\frac{1}{FR}\right)-\frac{1}{f(\mathrm{d}+F)}\right)$,

$\frac{1}{\mathrm{d}^3}+\frac{1}{F^3}=\frac{m}{(1-m)f}\left(\frac{1-m}{mff}-\frac{3(1-m)}{mf(\mathrm{d}+F)}\right)$.

Multipliant ces parties par les coëfficiens reſpectifs m, $1+3m$, $2+3m$, $1+m$, les ajoutant enſuite, & réduiſant, on aura enfin DG ou $x=F-\frac{FFll}{2ff}\left(\frac{1-2m+2m^3}{(1-m)^2 f}-\frac{3+2m}{\mathrm{d}+F}+\frac{2(1+m)}{\mathrm{d}+F}\left(\frac{\mathrm{d}}{r}+\frac{F}{R}-\frac{m(1+2m)}{(3-m)(r+R)}\right)\right)=F-\frac{FFll}{2ff}\left(\frac{1}{(1-m)^2 f}-\frac{3+2m}{\mathrm{d}+F}-\frac{2(1+m)}{\mathrm{d}+F}\times\left(\frac{\mathrm{d}}{r}+\frac{F}{R}\right)-\frac{m(1+2m)}{(1-m)(r+R)}\right)$.

Soit y l'aberration de ſphéricité, j'aurai $y=F-x=\frac{F^2 l^2}{2f^2}\left(\frac{1}{\overline{1-m}^2 f}-\frac{3+2m}{\mathrm{d}+F}-\frac{2(1+m)}{\mathrm{d}+F}\left(\frac{\mathrm{d}}{r}+\frac{F}{R}\right)-\frac{m(1+2m)}{(1-m)(r+R)}\right)$. Je fais $\frac{1}{\overline{1-m}^2}=A$, $3+2m=B$, $2(1+m)=C$, $\frac{m(1+2m)}{1-m}=E$; donc $y=\frac{F^2 l^2}{2f^2}\left(\frac{A}{f}-\frac{B}{\mathrm{d}+F}-\frac{C}{\mathrm{d}+F}\left(\frac{\mathrm{d}}{r}+\right.\right.$

$\frac{F}{R}) - \frac{r+R}{E})$. Si on différencie l'équation $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{\mathrm{d}}$, obſervant de ne pas faire varier f; on aura $df = \frac{F^2}{\mathrm{d}}\, d\,\mathrm{d}$, ce qui déſigne la petite variation qu'éprouve le foyer lorſque la diſtance eſt variable. Cette variation dans le foyer, eſt une aberration qu'il faut évidemment ajouter à celle de ſphéricité que nous venons de déterminer, pour avoir l'aberration totale.

Quand on ſuppoſe que la diſtance du point lumineux à la lentille varie d'une petite quantité $A\ a$, on a $y = \frac{F^2 l^2}{2f^2}\left(\frac{A}{f} - \frac{B}{\mathrm{d}+F} - \frac{C}{\mathrm{d}+F}\left(\frac{\mathrm{d}}{r} + \frac{F}{R}\right) - \frac{E}{r+R}\right) + \frac{F^2}{\mathrm{d}^2}\, d\,\mathrm{d}$, formule plus générale que la précédente, & dont nous nous ſervirons de préférence dans la recherche de l'aberration d'un nombre quelconque de lentilles.

Si je veux avoir l'aberration pour deux lentilles, je nomme cette aberration y'', & j'ai $y'' = \frac{F''^2 l''^2}{2f''^2}\left(\frac{A''}{f''} - \frac{B''}{\mathrm{d}''+F'} - \frac{C''}{\mathrm{d}''+F''}\left(\frac{\mathrm{d}''}{r''} + \frac{F'}{R''}\right) - \frac{E''}{r''+R''}\right) + \frac{F''^2}{\mathrm{d}''^2}\, d\,\mathrm{d}''$.

Je remarque que $d\,\mathrm{d}''$, c'eſt-à-dire, la variation dans la diſtance de l'objet à la deuxieme lentille, n'eſt cauſée que par l'aber-

ration de la premiere lentille ; en ſorte que ſi y' déſigne l'aberration de la premiere lentille, on a $d\,\mathrm{d}'' = y'$; d'où on déduit cette expreſſion $y'' = \frac{F''^2\, l''^2}{2 f''^2} \left(\frac{A''}{f''} - \frac{B''}{\mathrm{d}'' + F''} - \frac{C'}{\mathrm{d}'' + F''} \times \left(\frac{\mathrm{d}''}{r''} + \frac{F''}{R''} \right) - \frac{E''}{r'' + R''} \right) + \frac{F''^2}{\mathrm{d}''^2} \times \frac{F'^2\, l'^2}{2 f'^2} \left(\frac{A'}{f'} - \frac{B'}{\mathrm{d}' + F'} - \frac{C'}{\mathrm{d}' + F'} \times \left(\frac{\mathrm{d}'}{r'} + \frac{F'}{R'} \right) - \frac{E'}{r' + R'} \right)$.

Nous avons ſuprimé, dans cette valeur, le terme $\frac{F'2}{\mathrm{d}'^2}\, d\,\mathrm{d}'$, parce que les rayons qui tombent ſur la premiere lentille partant d'un même point, on a $d\,\mathrm{d}' = 0$.

On aura pareillement l'aberration pour trois lentilles.

$$y''' = \frac{F'''^2\, l'''^2}{2 f'''} \left(\frac{A'''}{f'''^2} - \frac{B'''}{\mathrm{d}''' + F'''} - \frac{C'''}{\mathrm{d}''' + F'''} \left(\frac{\mathrm{d}'''}{r'''} + \frac{F'''}{R'''} \right) - \frac{E'''}{r''' + R'''} \right) + \frac{F'''^2}{\mathrm{d}'''^2} \times \left[\frac{\mathrm{d}''' + F'''}{F'''^2\, l'''^2} \left(\frac{A''}{f''} + \frac{B''}{\mathrm{d}'' + F''} - \frac{C'}{\mathrm{d}'' + F''} \left(\frac{\mathrm{d}''}{r''} + \frac{F''}{R''} \right) - \frac{E''}{r'' + R''} \right) + \frac{F''^2}{\mathrm{d}''^2} \times \frac{F'^2\, l'^2}{2 f'^2} \left(\frac{A'}{f'} - \frac{B'}{\mathrm{d}' + F'} - \frac{\mathrm{d}' + F'}{C'} \left(\frac{\mathrm{d}'}{r'} + \frac{F'}{R'} \right) - \frac{r' + R'}{E'} \right) \right].$$

Examinons maintenant les degrés de perfection dont ſont ſuſceptibles les objectifs composés d'une ou pluſieurs lentilles.

Commençons d'abord par les objectifs composés d'une seule lentille. Nous venons de voir que

$y = \frac{F'^2 l'^2}{2 f'^2} \left(\frac{A'}{f'} - \frac{B'}{d' + r'} - \frac{C'}{d' + F'} \times \left(\frac{d'}{r'} + \frac{F'}{R'} \right) - \frac{E'}{r' + R'} \right)$, dans laquelle expression $\frac{1}{F'} = \frac{1 - m'}{m'} \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right) + \frac{1}{R'} - \frac{1}{d'}$ & $\frac{1}{f'} = \frac{1 - m'}{m'} \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right)$ ou $\frac{1}{F'} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{d'}$.

Ces formules peuvent se simplifier en remarquant que dans les télescopes la distance de l'objet à l'objectif est censée infinie, en sorte que $d' = \infty$; donc $y' = \frac{l'^2}{2} \left(\frac{A'}{f'} - \frac{C'}{r'} - \frac{E'}{r' + R'} \right)$, $\frac{1}{F'} - \frac{1}{f'} = \frac{1 - m'}{m'} \left(\frac{1}{r'} + \frac{2}{R'} \right)$. Pour avoir la moindre aberration, il suffit de différencier y', en ne faisant varier que r' & R', & faire cette différencielle égale à zéro ; on aura donc $\frac{C' \, d r'}{r'^2} + \frac{E' (d r' + d R')}{(r' + R')^2} = 0$. On peut éliminer les deux différencielles $d r'$ & $d R'$ par le moyen de l'équation $\frac{1}{f'} = \frac{1 - m'}{m'} \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right)$ qui devient, par la différenciation, $\frac{d r'}{r'^2} + \frac{d R'}{R'} = 0$; d'où on déduit cette expression de la moindre

aberration $y' - \frac{l'^2 G'}{2 f'}$, G' étant une fonc-tion de la réfraction, dont on connoît la va-leur par les équations précédentes : on a auss $\frac{1}{r'} = \frac{H'}{f'}$, & $\frac{1}{R'} = \frac{K'}{f'}$, H' & K' étant pareillement des fonctions de la réfraction.

Telle est la maniere de diminuer, autant qu'il est possible, l'aberration de sphéricité dans un objectif composé d'une seule len-tille. Quant à celle qui provient de la dif-férente réfrangibilité des rayons de lumiere, on ne peut parvenir à l'anéantir dans le cas d'une seule lentille, puisqu'en différenciant $\frac{1}{f'} = \frac{1 - m'}{m'} \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right)$, en faisant varier la réfraction, & faisant la différencielle égale à zéro, on trouve $r' = - R'$; ce qui mon-tre que l'objectif auroit une distance focale infinie, c'est-à-dire, n'auroit pas de foyer.

Passons aux objectifs composés de deux lentilles de différentes matieres.

$$y'' = \frac{F'' l''}{2 f''^2} \left(\frac{A''}{f''} - \frac{B''}{d'' + F''} - \frac{C'}{d'' + F''} \left(\frac{d''}{r''} + \frac{F''}{R''} \right) - \frac{E''}{r'' + R''} \right) + \frac{F''^2}{d''^2} \times \frac{F'^2 l'}{2 f'^2} \left(\frac{A'}{f'} - \frac{B'}{d' + E'} - \frac{C'}{d' + E'} \left(\frac{d'}{r'} + \frac{F'}{R'} \right) - \frac{E'}{r' + R'} \right),$$

dans laquelle expression on aura

$$\frac{1}{F'} = \frac{1 - m'}{m'} \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right) - \frac{1}{d'} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{d'};$$

$\frac{1}{d'}$; $\frac{1}{F''} = \frac{1 - m''}{m''} \left(\frac{1}{r''} + \frac{1}{R''} \right) - \frac{1}{d''} = \frac{1}{f''} - \frac{1}{d''}$.

Si on veut détruire l'aberration de sphéricité, il suffit de faire $y'' = 0$. On peut simplifier ces formules, en supposant que les deux lentilles qui composent l'objectif soient accolées ; dans ce cas, $F' + d'' = 0$, $l' = l''$; de plus, $d' = \infty$ dans les télescopes. Pour anéantir l'aberration de réfrangibilité, on a $\frac{1}{F'} = \frac{1 - m''}{m''} \left(\frac{1}{r''} + \frac{1}{R''} \right) + \frac{1 - m'}{m'} \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right)$. Je différencie cette expression en faisant varier m'' & m', & je fais cette différencielle égale à zéro ; j'ai donc $- \frac{d\, m''}{m''^2} \left(\frac{1}{r''} + \frac{1}{R''} \right) - \frac{d\, m'}{m'^2} \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'} \right) = 0$; d'où je conclus que $f' = n\, f''$, n désignant le rapport qu'il doit y avoir entre les foyers des verres pour dissiper les couleurs.

On pourra avoir des objectifs composés de trois lentilles, exempts d'aberration de réfrangibilité & de sphéricité, en faisant $y''' = 0 = \frac{F'''^2\, l'''^2}{2 f'''^2} \left(\frac{A'''}{f'''} - \frac{B'''}{d''' + F'''} - \frac{C'''}{d''' + F'''} \left(\frac{d'''}{r'''} + \frac{F'''}{R'''} \right) - \frac{E'''}{r''' + R'''} \right) + \frac{F'''^2}{d'''} \left(\frac{F''^2\, l''^2}{2 f''^2} \left(\frac{A''}{f''} - \frac{B''}{d'' + F''} - \frac{C''}{d'' + F''} \left(\frac{d^2}{r''} \right.\right.\right.$

$+ \frac{F''}{R''}) - \frac{E''}{r'' + R''}) + \frac{F''^2 F'^2 l'^2}{2 f'^2 d''^2} (\frac{A'}{f'} - \frac{B'}{d' + F'} - \frac{C'}{d' + F'} (\frac{d'}{r'} + \frac{F'}{R'}) - \frac{E'}{r' + R'}))$;

$\frac{1}{F'''} = \frac{1 - m'''}{m'''} (\frac{1}{r'''} + \frac{1}{R'''}) + \frac{1 - m''}{m''} (\frac{1}{r''} + \frac{1}{R''}) + \frac{1 - m'}{m'} (\frac{1}{r'} + \frac{1}{R'}) - \frac{1}{d'} \ldots\ldots \frac{1}{F'} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{d'}$.

Dans les téleſcopes $d' = \infty$, quand la lentille intérieure eſt de flint-glaſſ & les deux extérieures de crown-glaſſ. On détruira les couleurs en faiſant $\frac{1}{f'''} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{n f''}$. Lorſqu'il n'y a point d'intervalle entre les verres, $l' = l'' = l'''$, & $F' + d'' = 0$; $F'' + d''' = 0$; enfin $m' = m'''$.

Dans les téleſcopes $d' = \infty$. Quand les premiere, troiſieme & cinquieme lentilles ſont de crown-glaſſ, tandis que la deuxieme & la quatrieme ſont de flint-glaſſ, on anéantit l'aberration de réfrangibilité, en faiſant $\frac{1}{f^{v}} + \frac{1}{f'''} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{n f^{iv}} + \frac{1}{n f''}$, n déſignant le rapport qu'il doit y avoir entre le foyer des lentilles de flint-glaſſ & de crown-glaſſ, pour détruire les couleurs. Lorſqu'il n'y a point d'intervalle entre les verres $l' = l'' = l'''$ & $F' + d'' = 0$,

$F'' = d''' = 0$. C'eſt par les formules précédentes qu'on déterminera les dimenſions qu'il convient de donner aux courbures des verres pour anéantir l'aberration de réfrangibilité, & pour rendre celle de ſphéricité la plus petite poſſible ; mais avant de leur donner les courbures preſcrites par l'analyſe, il ſera utile de calculer trigonométriquement l'aberration qui réſulte de ces différentes courbures, obſervant d'avoir égard à l'épaiſſeur des verres. Pour ſavoir ſi un objectif détruit les couleurs, il ſuffit de regarder deux objets également éloignés, l'un peint en rouge, & l'autre en bleu ; lorſqu'on les voit tous les deux diſtinctement, c'eſt la preuve qu'il n'y a pas d'aberration ſenſible de réfrangibilité, puiſqu'alors les rayons rouges ont le même foyer que les rayons bleus.

Ce fut en 1765, que M. Dollond parvint à conſtruire une lunette achromatique, à triple objectif, de trois pieds & demi de longueur, & de 42 lignes d'ouverture ; cette lunette amplifie les diamètres des objets juſqu'à cent vingt fois, avec toute la clarté & diſtinction néceſſaire aux obſervations les plus délicates. Un tel effet, qui équivaut à celui

produit par les lunettes du célèbre Campani, de 30 à 40 pieds, sembloit devoir procurer à l'Astronomie de plus grands avantages que celui de faire disparoître l'incommodité qui résulte de l'usage de ces longues lunettes ; mais la difficulté de trouver du flint-glass assez épais, & en même temps assez parfait, pour être employé à la construction de lunettes de même genre, beaucoup plus longues sans doute, arrête les progrès de cet Art important. Ce fut en travaillant moi-même à une lunette achromatique à triple objectif de six pouces de diamètre, & de sept pieds de longueur, que je trouvai dans la flexibilité du verre de flint-glass un obstacle qui me parut insurmontable, tant que les plaques de bon flint-glass n'auroient que trois ou quatre lignes d'épaisseur; car, dans un objectif de six pouces de diamètre, le verre de flint-glass, lorsqu'il est destiné à faire une lunette de sept pieds, est tellement concave, que le centre du verre a à peine une ligne d'épaisseur.

La raison pour laquelle les plaques de flint-glass sont minces, c'est que ce verre est soufflé : or, tout verre soufflé est sujet aux filandres & aux tables; en

effet, le Verrier cueille, avec le bout de ſa canne, une certaine quantité de verre qu'il ſouffle en ballon; mais la quantité qu'il prend eſt inſuffiſante pour donner à ſon ballon l'épaiſſeur convenable : il eſt donc forcé de plonger, à différentes repriſes, le bout de ſa canne dans le creuſet, pour enfler ſon ballon; d'où il ſuit que tout verre ſoufflé, lorſqu'il eſt épais, eſt néceſſairement formé par couches, & ces couches ne s'amalgament pas toujours parfaitement, & ſont quelquefois de denſités différentes. La ſeconde couche, par exemple, ne ſe lie pas intimement à la premiere, lorſque celle-ci eſt trop refroidie, & l'Ouvrier eſt toujours le maître d'éviter ce défaut. Les couches ſeront auſſi de denſités très-différentes, lorſque le Verrier prendra le fond d'un creuſet pour former la première couche de ſon ballon, & le commencement d'un autre creuſet pour former la ſeconde couche. En effet, le flint-glaſſ ne doit ſa grande diſperſion qu'au verre de plomb qui entre dans ſa compoſition : or, lorſque ce verre eſt dans un état de fluidité parfaite, les parties les plus peſantes tombent au fond du creuſet, & les plus légères montent à ſa ſurface, par conſéquent le même

creuset doit contenir des verres de différentes densités. Les Opticiens nomment tables les couches qui n'ont ni une parfaite union, ni une égale densité. Pour peu qu'on soit Opticien, on apperçoit dans presque tous les verres soufflés d'une certaine épaisseur, des tables qui sont très-sensibles; lorsqu'on regarde le verre par la tranche, on reconnoît encore qu'à la réunion des couches, il y a souvent des sillons, qu'on nomme filandres; ces sillons ou filandres sont des tuyaux infiniment capillaires, qui ne peuvent avoir aucune régularité; d'où il suit une réfraction irrégulière, qui dilate la lumière des deux côtés du foyer dans un sens perpendiculaire à l'axe de ces tuyaux : cette aberration est sur-tout fort sensible, quand on regarde Jupiter avec des objectifs filandreux. Je pense que ces filandres sont ordinairement causées par des petits corps étrangers, qui s'attachent à la première couche du ballon, & qui empêchent l'adhésion de la seconde couche dans ces parties; & lorsque l'Ouvrier souffle ensuite son ballon, il se fait à ces endroits des sillons ou filandres, qui sont toujours plus ou moins préjudiciables à la bonté des objectifs.

Dès que le Verrier a formé ſon ballon & lui a donné les dimenſions convenables, il le coupe & l'applatit pour en faire des plaques, telles qu'on les tire des Manufactures d'Angleterre. Il ſemble que le flintglaſſ ſeroit plus propre à l'optique, ſi les gens qui le fabriquent le couloient au lieu de le ſouffler. Cependant les Phyſiciens ont obſervé que, dans les machines électriques, les plateaux de glace ſoufflée étoient ſupérieurs, pour l'effet, aux plateaux de glaces coulées : j'ai auſſi fait la même remarque ſur les verres qui ont ſervi à faire les meilleurs objectifs connus ; j'ai reconnu, avec ſurpriſe, qu'ils étoient tous de verre ſoufflé. Quoi qu'il en ſoit de cette obſervation, il me paroît utile de faire part au Public du moyen que j'ai mis en uſage pour conſtruire un objectif, de ſix pouces de diamètre, avec des plaques de flint-glaſſ très-minces. Dès que j'eus détruit toutes les parties de mon plateau de flint-glaſſ, que je reconnus être défectueuſes, en les uſant avec du grès & un outil de fer triangulaire, j'expoſai mon verre à un feu aſſez violent pour l'amollir ; ce verre étoit placé dans un four propre à courber les glaces, il poſoit ſur un moule de terre convexe

de la courbure que je voulois lui donner : auſſi-tôt qu'il fut amolli, je le fis refouler avec des pinces de fer, obſervant d'éviter les plis ; ce refoulement fut ſi bien ménagé, que mon plateau, qui n'avoit que trois lignes d'épaiſſeur, s'enfla de manière à avoir près d'un pouce d'épaiſſeur vers ſes bords ; & à l'inſtant qu'il n'eut que cinq pouces de diamètre, je l'enfermai par un anneau de ſix pouces de diamètre & de huit à neuf lignes d'épaiſſeur ; cet anneau étoit deſtiné à contenir les bords du verre amolli dans la juſte épaiſſeur qu'il convenoit de lui donner, & un ſecond moule de terre, de la courbure néceſſaire à la ſurface ſupérieure du verre, acheva de lui donner, par ſon poids, la forme qu'il importoit de lui procurer, pour qu'on fût diſpenſé, en le taillant, d'un long travail, & que l'on perdît le moins poſſible de cette précieuſe ſubſtance.

C'eſt ainſi que je me ſuis procuré des morceaux de flint-glaſſ, propres, par leur épaiſſeur & leur diamètre, aux plus grandes lunettes. L'Artiſte qui, ſous ma direction, eſt parvenu à donner au flint-glaſſ la forme déſirée, ſe nomme le ſieur *Ferret* ; je lui ai confié depuis un aſſez grand nombre de plaques, tant de flint-

glaſſ que de crown-glaſſ, & de verre de France ; il a conſtamment réuſſi à leur donner la forme que je déſirois. Je ſais bien que cette méthode n'a d'autre mérite que ſon application à la conſtruction des lunettes achromatiques ; car, dès l'enfance de l'Art de la Verrerie, on a ſu amollir le verre déjà fait, & lui donner des formes beaucoup plus difficiles ; mais ſavoit-on qu'on n'altéroit par-là, ni la bonté du verre, ni ſa réfraction, ni ſa diſperſion ? Au reſte, la perfection des lunettes achromatiques intéreſſe trop les progrès de l'Aſtronomie, pour qu'on puiſſe ſe permettre de rien négliger de tout ce qui peut y contribuer.

Dès que j'eus donné à mon verre de flint-glaſſ une bonne épaiſſeur, par le moyen que je viens d'indiquer, je parvins à faire une lunette achromatique, de ſept pieds, à triple objectif, qui faiſoit un effet beaucoup plus grand que les lunettes de M. Dollond, ſans cependant pouvoir lui donner une ouverture proportionnée à celle de 42 lignes, que les lunettes de cet Artiſte célèbre ſupportent ; la mienne n'a jamais pu porter qu'une ouverture de quatre pouces ; mais avec cette ouverture, elle amplifioit les diamètres des objets trois

cents fois, avec toute la clarté & la diſtinction convenables aux obſervations les plus délicates. Voici les dimenſions que j'ai données aux trois verres qui compoſent le verre objectif, lequel a ſix pouces de diamètre ; le verre de crown-glaſſ, également convexe des deux côtés, a pour rayon 53 pouces ; ce verre eſt placé devant l'objet. Le ſecond verre eſt de flint-glaſſ, il eſt biconcave ; la concavité, qui n'eſt ſéparée que par un anneau de papier noir du verre de crown-glaſſ, a pour rayon de courbure 53 pouces ; l'autre ſurface de ce verre a pour rayon de courbure 38 pouces ; le troiſième verre eſt de glace de Veniſe ſoufflée, il eſt biconvexe ; la ſurface qui touche au verre de flint-glaſſ, a pour rayon de courbure 68 pouces ; la ſeconde ſurface de ce verre regarde l'œil, & a pour rayon de courbure 53 pouces ; la raiſon pour laquelle cet objectif ne ſupporte qu'une ouverture de quatre pouces, ne m'eſt pas bien connue. Je l'ai travaillé avec tant de ſoin, & j'ai paſſé un temps ſi conſidérable à lui donner le degré de perfection qu'il étoit en mon pouvoir de lui donner, que je ne peux me perſuader que ſes bords fuſſent détériorés, au point de ne pas comporter une plus grande ouverture.

J'ai ſeulement lieu de préſumer que les verres de flint-glaſſ & de crown-glaſſ n'ont pas exactement la proportion qu'ils doivent avoir, pour que l'aberration de réfrangibilité fût la plus petite poſſible ; car, lorſque j'ai fait cet objectif, je n'avois pas encore eu l'idée du diaſporamètre : or, c'eſt cet inſtrument qui peut ſeul fixer cette proportion d'une manière préciſe : mais ma lunette, dans l'état où elle eſt, fait un trop grand effet pour qu'il fût prudent d'y toucher.

Lorſqu'on regarde les étoiles par les meilleurs téleſcopes, ou par les lunettes achromatiques les plus fortes, on ne les voit jamais comme des points ; elles ſont ſintillantes, & l'on ne peut donner à leur diamètre aucune évaluation. Dans ces inſtrumens, les ſatellites de Jupiter n'ont pas de diſque terminé. Ce phénomène me paroît mériter l'attention des Phyſiciens ; car c'eſt une règle générale, que toutes les fois que le diamètre d'un objet n'occupe pas ſur la rétine l'étendue d'une minute, il paroît toujours défiguré, quoique ſon image ſur la rétine ſoit bien terminée. En effet, regardez Jupiter avec une bonne lunette de Dollond, qui amplifie le diamètre des objets cent vingt fois, vous

verrez le disque de cette planete parfaitement terminé. Or, ce disque, qui a une forme bien dessinée avec ce grossissement, cessera d'être distinct, lorsque la même lunette n'amplifiera le diamètre de la planete que cinq ou six fois. Les satellites de Jupiter offrent le même effet; leurs disques ne sont jamais terminés, parce que, dans les meilleurs télescopes, ils ont de très-petits diamètres. Quelle est la raison de ce phénomène? La vue seroit-elle comme le toucher? Faudroit-il que la lumière occupât sur la rétine une certaine étendue, pour la vision distincte & les houpes nerveuses qui tapissent le fond de l'œil? Sont-elles trop grossières pour les images des étoiles des satellites, & de tous les petits diamètres? J'ai fait, sur ce sujet, un grand nombre d'expériences, & je me propose de suivre cet objet avec d'autant plus de soin, que je crois pouvoir parvenir à mesurer des petits diamètres en les dilatant dans un sens; car l'expérience m'a appris qu'alors les étoiles, même les plus scintillantes, étoient terminées. J'ai remarqué que toutes les fois que je décomposois la lumière de Sirius, par un prisme placé devant un bon télescope, j'obtenois un spectre qui perdoit

ſa ſcintillation dans le ſens où il n'étoit pas dilaté : ainſi, il n'eſt peut-être pas impoſſible de pouvoir, par ce moyen, connoître le diamètre des étoiles principales ; il ſuffira pour cela d'employer un priſme de criſtal de roche d'un angle fort petit, ſe mouvant le long de l'axe de la lunette. En ce cas, il ne faut pas que le priſme de criſtal de roche ſoit combiné avec un priſme de verre de France, qui le rende achromatique, puiſqu'il eſt au contraire néceſſaire que l'image de l'étoile ſoit dilatée dans le ſens de l'angle du priſme, pour qu'elle perde ſa ſcintillation dans le ſens oppoſé, qui n'éprouve de la part du priſme aucune dilatation. Je rendrai compte au Public de mes eſſais en ce genre ; je me propoſe auſſi de lui faire part, dans le même Mémoire, de ceux que j'ai déjà faits, ſur les couleurs des différentes taches de lune. Cette planete paroît jaune orangé dans toute ſa ſurface ; mais avec des verres de différentes couleurs, on pourra peut-être reconnoître les parties qu'un verre de certaines couleurs avive ou obſcurcit, & de là former des conjectures ſur les couleurs des différentes parties de cette planete.

J'ai encore tenté, dans mes voyages,

de faire des lunettes à voir ſous l'eau à une aſſez grande profondeur ; ce qui m'a fait eſpérer qu'on pouvoit y parvenir, c'eſt l'obſervation qui eſt connue de tous les Marins, qu'on ne voit jamais mieux les hauts-fonds que du haut des mâts. En général, plus on eſt élevé au deſſus de la ſurface de l'eau, & mieux on en voit le fond; c'eſt même un ſpectacle tout-à-fait curieux, & qui m'a ſurpris, lorſque j'ai vu, pour la première fois, du haut d'une montagne de l'Iſle de France, qu'on nomme *le Pouce*, qui a 424 toiſes d'élévation, le port de l'Iſle de France; il m'eût été facile, du ſommet de cette montagne, de deſſiner les hauts-fonds dont le port eſt rempli, & de donner à ce tableau les diverſes nuances cauſées par l'inégale profondeur de l'eau, & par la nature du fond, qui eſt couvert de madrepores de différentes formes. C'eſt en cherchant la cauſe de ce phénomène, que je me ſuis convaincu qu'une lunette, dont l'objectif ſeroit plongé dans l'eau, & qui auroit des dimenſions relatives au paſſage des rayons de l'eau dans le verre, ſeroit très-convenable pour voir ſous l'eau à une grande profondeur : en effet, qu'eſt-ce qui fait que près de la ſurface de l'eau, on n'en

voit pas le fond, tandis que du haut des mâts, ou ſur une montagne élevée, on voit ſous l'eau à une grande profondeur? Certainement ce ſont les reflets qui ſe font à la ſurface de l'eau, qui cauſent ſeuls cette différence : or, la lunette qui eſt enfermée dans un tube, & dont l'objectif eſt plongé dans l'eau, ne peut être expoſée à aucuns reflets; ainſi elle ſe trouve, de ce côté-là, jouir du même avantage que la montagne la plus élevée : bien plus, les rides de ſa ſurface ne troublent pas l'image des objets, & en amplifiant quatre ou cinq fois, elle procure le moyen de mieux reconnoître les petits objets. J'ai ſu, par M. le Chevalier de l'Iſle Beauchène, Lieutenant des vaiſſeaux du Roi, qu'un célèbre Ingénieur Suédois, qui eſt chargé de la conſtruction des baſſins de Carlſcroon (1),

(1) Les travaux que le Roi de Suède fait faire à Carlſcroon, port ſitué ſur la Baltique, excitent l'admiration des Etrangers. J'obſerverai, à ce ſujet, que les François, qui déſirent ſi ardemment un port dans la Manche, avec une rade à l'abri de la groſſe mer, en auroient obtenu un qui n'auroit pas été fort diſpendieux, ſi depuis qu'on s'en occupe on avoit pris le parti de faire des jetées pour rompre la mer, en coulant de vieux vaiſſeaux, chargés de leſte, dans des poſitions convenables, & choiſis par des Marins; ces vaiſſeaux auroient ſervi de noyaux à des bancs ou iſlots, qui ſe ſeroient formés dans un très-petit nombre d'années, par les dépôts journaliers qui ſe ſeroient faits

a eu la même idée que moi, & se sert avec succès d'une lunette semblable, pour voir dans l'eau à une assez grande profondeur : au reste, les expériences qu'il est à propos de faire sur ce sujet, exigent qu'on soit à portée d'une rade où il y ait des fonds d'inégale profondeur ; le premier voyage que je ferai à Brest me mettra à portée d'en faire l'essai.

---

contre ces vaisseaux. J'en ai vu des exemples frappans dans le port de l'Isle de France, où il se trouve plusieurs bancs ainsi faits par des vaisseaux coulés ; ce moyen de faire des jetées est le plus solide & le moins dispendieux.

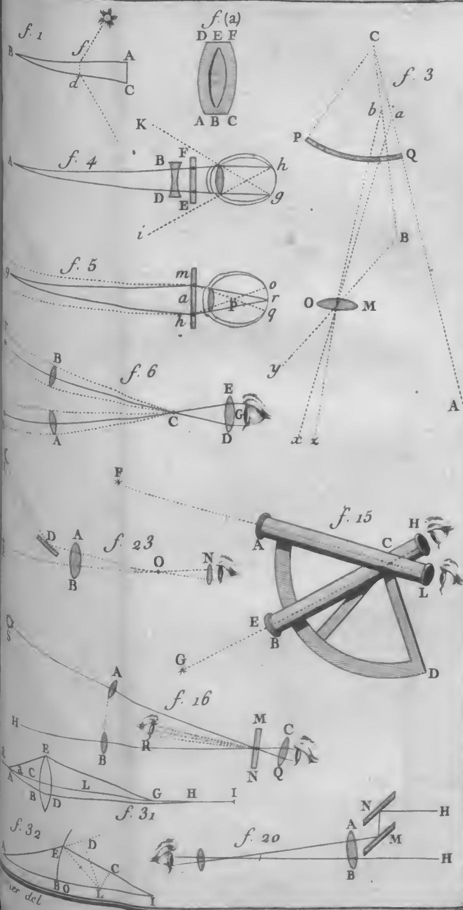
FIN.

ESSAI DE GRAVURE

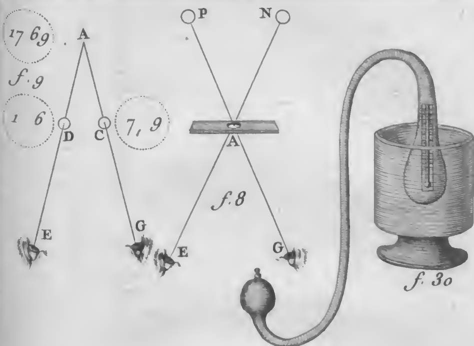
Exécuté en 1782 par le modèle de la Machine à Graver dont on a donné la Description dans cet Ouvrage.

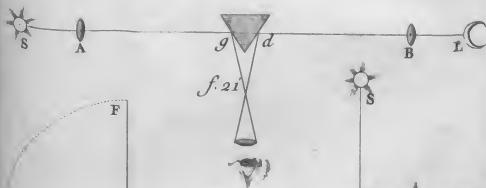
Dieu parle et le Chaos se dissipe à sa voix,
Vers un centre commun tout gravite à la fois,
Ce ressort si puissant l'Ame de la Nature,
Etoit enséveli dans une nuit obscure,
Le compas de Neuton mesurant l'Univers,
Leve enfin ce grand voile et les Cieux sont ouverts.

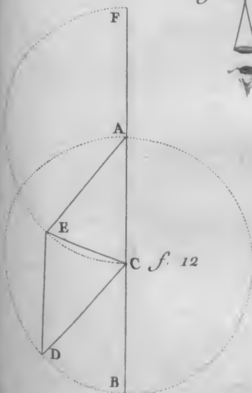
Il déploye à mes yeux par une main savante,
De l'Astre des Saisons la robe étincelante.
L'Emeraude, l'azur, le pourpre, le rubis,
Sont l'immortel tissu dont brillent ses habits.
Chacun de ses rayons dans sa substance pure,
Porte en soi les couleurs dont se peint la Nature,
Et confondus ensemble, ils éclairent nos yeux,
Ils animent le Monde, ils emplissent les Cieux.

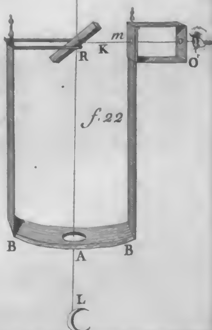

f. 1
B f A d C
f. (a)
D E F
A B C
C
f. 3
b a
P Q
K
f. 4
A B F h
D E g
i
B
f. 5
g m o
a P r
h q
O M
y
A
B
f. 6
E
G
C
A D
x z
F
f. 15
H
C
D A
f. 23
O N
B
L
A
E
B
S
G
D
A
f. 16
H M
C
R
B N Q
E
a C
A L
B D G H I
f. 31
f. 32
A E D
C
B O L I
N H
A
f. 20
M
H
B
ier del





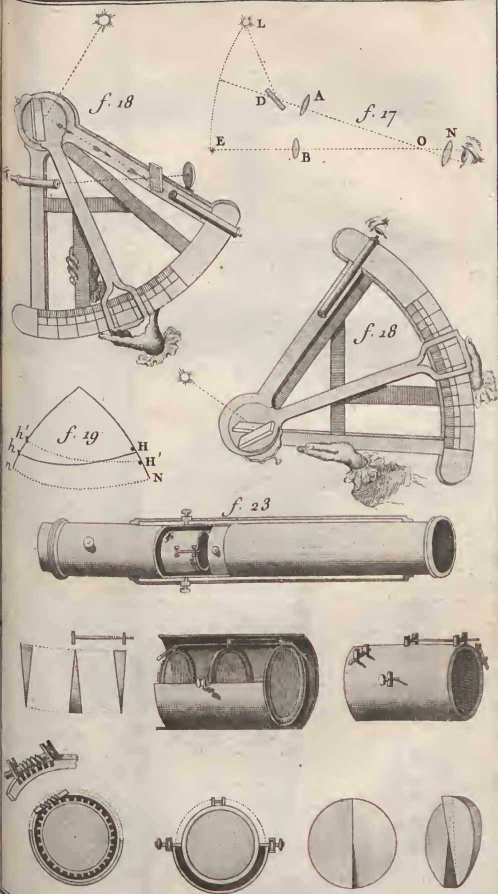






Fossier del. Sellier Sculp.



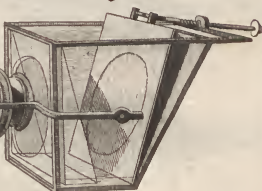


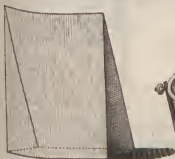
Fossier del.

Sellier Sculp.

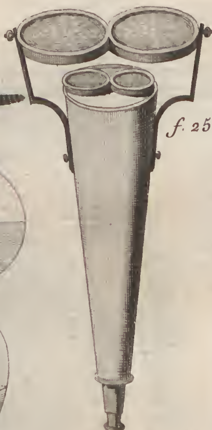




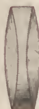














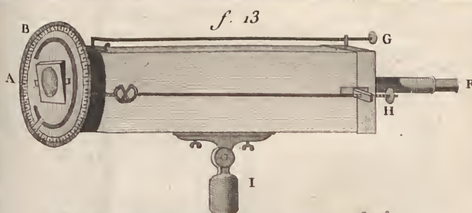


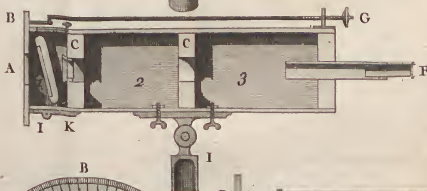


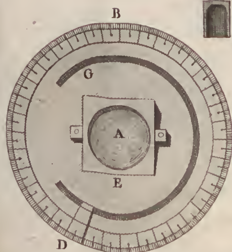
Fossier del. Sellier Sculp

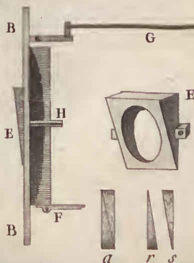




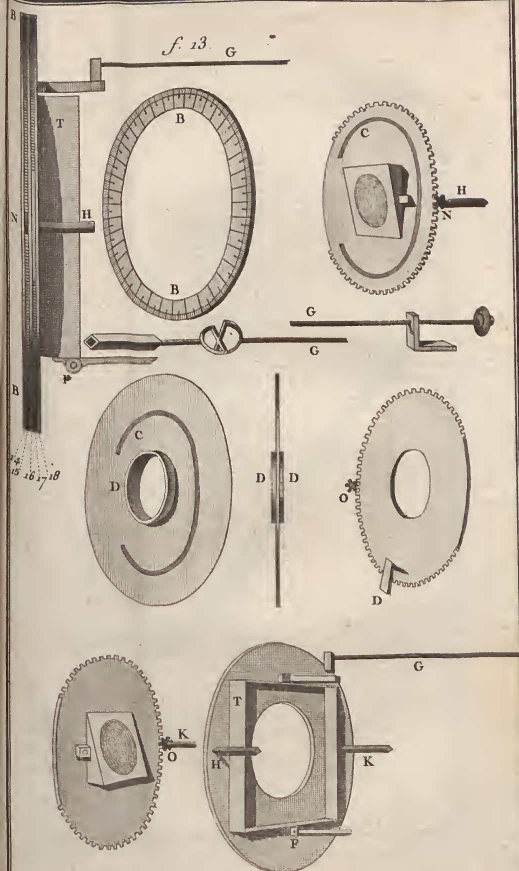




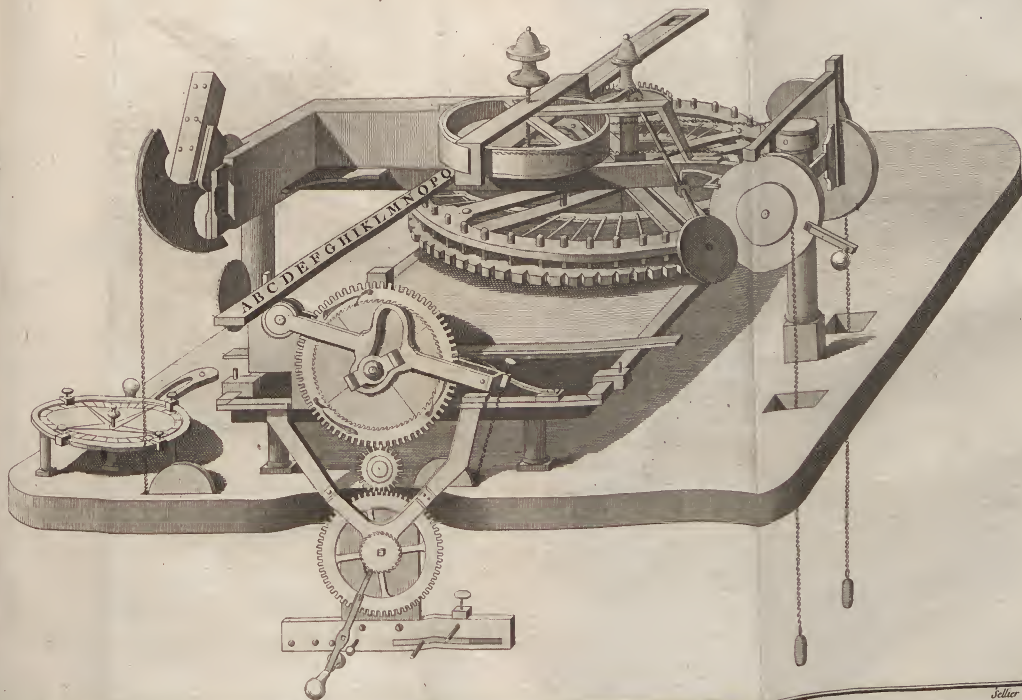




Fossier del. Sellier Sculp.



Fossier del. *Sellier Sculp.*



Fossier del.

Sellier Sculp.

L

&

A

A

I

B

H ABCDEFGHIKLMN

yxz

H

m

N

P

B

E

E

K

G

G

&

A

A

Z

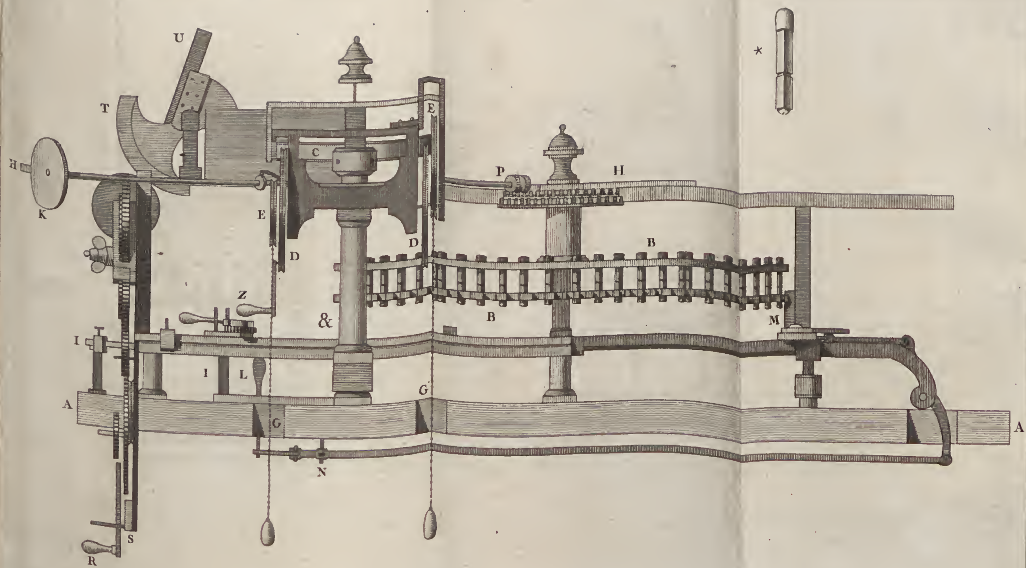
D

D

Fossier del.

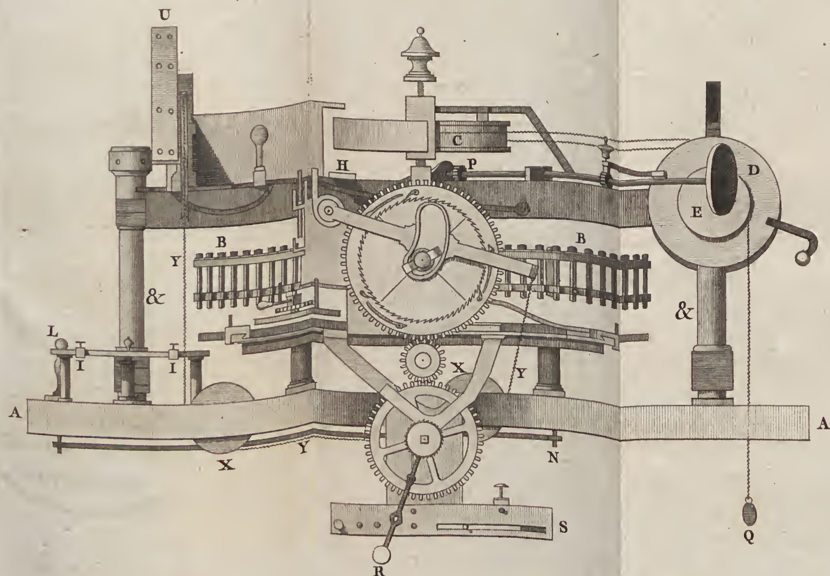
Sellier Sculp.

Pl. 9.



Fossier del.

Sellier Sculp.



Fossier del.

Sellier Sculp.


ACCADEMIA
R. DELLE SCIENZE
DI TORINO

